

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

**ΑΝΑΛΥΣΗ
ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥ ΜΟΥΣΙΚΟΥ ΜΕΛΟΥΣ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υπό
Δημητρίου Σπ. Δελβινιώτη
Φυσικού

ΑΘΗΝΑ
2002

ND 15220
noe 213090

Ημερομηνία αποδ.

12-7-2005

παραπομπή στον
515

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

τηλ 0631-025858



26 ΙΑΝ. 2002

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥ ΜΟΥΣΙΚΟΥ ΜΕΛΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υπό
Δημητρίου Σπ. Δελβινιώτη
Φυσικού

ΑΘΗΝΑ
2002

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ 7ΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Σ. Θεοδορίδης

Γ. Αμαργιανάκης

Γ. Κουρουπέτρογλου

Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Επ. Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Ν. Καλουπτσίδης

Σ. Καραμπογιάς

Μ. Σαγκριώτης

Δ. Γιαννέλος

Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Επ. Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Επ. Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Αναπ. Καθηγητής
Ιονίου Παν/μίου

Επιβλέπων Καθηγητής

Σέργιος Θεοδορίδης
Καθηγητής
Παν/μίου Αθηνών

Ἀφιερώνεται σ' ὅσους ἀγαποῦν
καί πονοῦν αὐτόν τόν τόπο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή ή διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε χάρις σέ κάποιους ανθρώπους προς τους οποίους όφειλω, πράγματι, θερμές εύχαριστίες.

Πρώτα πρέπει νά εύχαριστήσω τόν στυλοβάτη αυτής τής προσπάθειας τόν επιβλέποντα καθηγητή κ. Σέργιο Θεοδωρίδη για τήν διάθεση τοῦ πολύτιμου χρόνου του και τήν σημαντικότερη βοήθειά του. Χωρίς τό άμέριστο ενδιαφέρον του για τήν παραδοσιακή μουσική και τήν φιλικότερη διάθεσή του, δέν θά εἶχε κόν ξεκινήσει. Παράλληλα, εἶναι χρέος μου νά αποδώσω τήν όφειλόμενη εύγνωμοσύνη ως μνημόσυνο, στην μνήμη τοῦ δασκάλου Μάριου Μαυροειδή για τήν πρόθυμη και ουσιαστική συνεισφορά του στά πρώτα στάδια τής μελέτης.

Εύχαριστίες, επίσης, όφειλονται στους καθηγητές κ.κ. Γεώργιο Κουρουπέτρογλου και Γεώργιο Ἀμαργιαννάκη για τήν προσφορά τους στην βιβλιογραφία και τίς χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Ἐπειδή τό μεγαλύτερο μέρος τοῦ χρόνου πού δαπανήθηκε για τήν μελέτη, άφοροῦσε τίς οικογενειακές σχέσεις, εἶναι σαφές ότι χωρίς τήν συμπαράσταση όλης τής οικογένειάς μου, δέν θά ἦταν δυνατόν νά προχωρήσει ή έρευνα. Ἐτσι εύχαριστῶ τήν σύζυγό μου Διαμάντω Λιαπίκου - Δελβινιώτη για τήν ύπομονή της και τήν συμπαράστασή της σ' αυτήν τήν δύσκολη πορεία. Εύχαριστίες και στά παιδιά, Νεκταρία, Χαρίκλεια, Ξένη, Ἐλένη, Ἀγνή και Σπυρίδωνα, για τήν άνάπαυση πού μοῦ πρόσφεραν στά διαλλείματα αυτής τής προσπάθειας.

Ἐπίσης θά ἤθελα νά εύχαριστήσω τόν π. Πέτρο Πανταζή πρώην μέλος τής χορωδίας τής Ἐθνικῆς Λυρικῆς Σκηνῆς για τίς πληροφορίες του από τήν προσωπική του έμπειρία ως τενόρου αλλά και τήν βιβλιογραφία πού μοῦ παρεἶχε.

Ἀθήνα, Σεπτέμβριος 2001

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

§	§§	§§§	Σελίς
		Εύχαριστίες	III
		Περιεχόμενα	IV
		ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
		ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
		ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	5
		Η ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΩΝΗΤΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ	
2.1		Είσαγωγή	5
2.2		Άκουστική	5
	2.2.1	Βασικές έννοιες	5
	2.2.2	Εκπομπή του ήχου	7
	2.2.3	Ήχητικό πεδίο ήχητικής πηγής και αντίληψη	8
	2.2.4	Φάσμα του εκπεμπόμενου φωνητικού ήχου	8
2.3		Φωνή και ανατομία του φωνητικού οργάνου	9
	2.3.1	Τί είναι φωνή	9
	2.3.2	Η ανατομία του φωνητικού οργάνου (voice organ)	9
		2.3.2.1 Τό σύστημα αναπνοής	9
		2.3.2.2 Ό λάρυγγας	10
		2.3.2.3 Η φωνητική οδός	17
2.4		Λειτουργία και άκουστική του φωνητικού οργάνου	17
	2.4.1	Βασικές έννοιες και σχέσεις τους	17
		2.4.1.1 Έννοιες σχετιζόμενες με την φώνηση και την πηγαία φωνή	18
		2.4.1.2 Έννοιες σχετιζόμενες με την άρθρωση	18
		2.4.1.3 Μουσικολογικές έννοιες	19
	2.4.2	Πηγαία φωνή	20
	2.4.3	Είδη φώνησης	21
	2.4.4	Γλωττιδόγραμμα και πηγαία φωνή	23
	2.4.5	Φασματικό περιεχόμενο της πηγαίας φωνής	24
	2.4.6	Άρθρωση και χαρακτηριστικά	25
		2.4.6.1 Τί είναι οι φωνοσυντονισμοί (formants);	25
		2.4.6.2 Η συνάρτηση επιφάνειας (Area function)	27
		2.4.6.3 Παράγοντες που επιδρούν στους φωνοσυντονισμούς	28
		2.4.6.4 Η «τοποθεσία» των φωνηέντων	31
		2.4.6.5 Ο φωνοσυντονισμός του τραγουδιστή (singer's formant (SF))	32
		2.4.6.6 Η επίδραση της ρινικής κοιλότητας	34
	2.4.7	Σχέση φώνησης και φωνητικού διαγράμματος (ρεγκίστρου)	34
		ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	38
		ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	
3.1		Γενικές έννοιες	38
	3.1.1	Ήχοχρωματικές διαστάσεις	38
	3.1.2	Τρόποι φωνής και φωνητική ποιότητα	39
	3.1.3	Χαρακτηριστικά των φωνητικών τρόπων	40
3.2		Στάθμη πίεσεως ήχου (SPL) και άκουστότητα	41
3.3		Ανάλυση συχνότητας και κρίσιμες ζώνες	42
3.4		Κρίσιμες ζώνες και ήχοχρωμα	44
3.5		Φωνητικό όργανο και ήχοχρωμα	45
	3.5.1	Πηγαία φωνή και ήχοχρωμα	45
	3.5.2	Φωνητική οδός και ήχοχρωμα	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
Η ΜΕΧΡΙ ΤΩΡΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΕΡΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΛΤΙΚΩΝ
ΦΩΝΩΝ

48

4.1	Εισαγωγή	48
4.2	Τά είδη τῶν φωνῶν στό ὀπερατικό τραγούδι	48
4.2.1	Ἡ βασική ταξινόμηση	48
4.2.2	Περάσματα (passaggi) τῶν φωνητικῶν διαγραμμάτων	51
4.2.3	Ἀκουστικά χαρακτηριστικά τῶν ὀπερατικῶν φωνῶν	53
4.3	Ἡ ἔως τώρα ταξινόμηση τῶν φωνῶν στήν ψαλμωδία	54
4.3.1	Προηγούμενες ἀπόψεις	54
4.3.2	Ταξινόμηση καί ψαλτικό ὕφος	55
4.3.3	Μουσική σημειογραφία καί φωνητική ἀπόδοση	57
4.3.4	Ἡ ἀνάγκη ταξινόμησης τῶν ψαλτικῶν ἡχοχρωμάτων	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

62

5.1	Εισαγωγή	62
5.2	Βασικές ἔννοιες	63
5.3	Κλασσική φασματική ἐκτίμηση	65
5.3.1	Ὁ βραχύχρονος μετασχηματισμός Fourier (Short-time Fourier transform)	65
5.3.2	Τό περιοδόγραμμα	66
5.3.3	Ἡ μέθοδος Welch	69
5.3.4	Ἄλλες μή παραμετρικές μέθοδοι	70
5.4	Παραμετρική φασματική ἐκτίμηση	71
5.4.1	Εισαγωγή	71
5.4.2	Τό μοντέλο AR	72
5.4.2.1	Ὁρισμός τοῦ μοντέλου AR καί ἡ ἐξίσωση φάσματος	72
5.4.2.2	Τό μοντέλο AR καί ἡ γραμμική πρόβλεψη	73
5.4.2.3	Ἡ μέθοδος ἐκτίμησης τῶν παραμέτρων AR (modified covariance)	74
5.4.2.4	Ἡ ἐφαρμογή τοῦ μοντέλου AR στήν ἐκτίμηση τῶν φωνοσυντονισμῶν	76
5.5	Μεθοδολογία τῆς ἀνάλυσης	79
5.5.1	Καθορισμός τῶν δεδομένων	79
5.5.2	Μέθοδος τοῦ μέσου ὁρου τῶν τροποποιημένων περιοδογραμμάτων	82
5.5.3	Οἱ παραμετρικές μέθοδοι	83
5.5.3.1	Ἡ μέθοδος τῆς αὐτοσυσχέτισης (Markel)	83
5.5.3.2	Ἡ μέθοδος τῆς τροποποιημένης συνδιακύμανσης	85
5.5.4	Ἀλγόριθμος καί διαγράμματα ἀνάλυσης	90
5.5.4.1	Τά φασματογραφήματα AR	90
5.5.4.2	Ἀρμονικές τροχιές	92
5.5.4.3	Φωνοσυχνοτικές τροχιές (τροχιές τῶν φωνοσυντονισμῶν)	92
5.5.4.4	Τά μέσα φάσματα μεγάλης διάρκειας (ΜΦΜΔ)	95
5.5.4.5	Ὁ ἀλγόριθμος ἐκτίμησης τῶν φωνοσυντονισμῶν	96
5.5.4.6	Ἀνάλυση τῶν φασμάτων ψαλτικοῦ δείγματος	98
5.5.4.7	Ἀκρίβεια μετρήσεων τῆς μεθόδου	99
5.4.5	Διάφοροι ἄλλοι ἐλεγχοί	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

103

6.1	Εισαγωγή	103
6.2	Ἡ ἐπιλογή τοῦ ὕλικου	103
6.3	Ἐλεγχος τοῦ ὕλικου καί ἀποτελέσματα ἀνάλυσης	105
6.3.1	Ἡ βασική ἰδέα γιά τόν ἐλεγχό τοῦ ὕλικου	105
6.3.2	Γενικές παρατηρήσεις στά ἀποτελέσματα	109
6.3.3	Σχέση φωνηέντων ὁμιλίας καί ψαλμωδίας	111
6.3.4	Σχέση φωνηέντων ψαλμωδίας καί δυτικῆς Ὀπερας	115
6.3.5	Σχόλια στά ἀποτελέσματα	119

6.3.6	Ἡ ἰσχὺς τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν	121
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	127
	ΜΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΑΛΤΙΚΩΝ ΦΩΝΩΝ	
7.1	Παρατηρήσεις γιὰ σταθερές καί ἀσταθεῖς φωνές	127
7.2	Μιά πρώτη ταξινόμηση	128
7.3	Ἡ τελικὴ ταξινόμηση τῶν ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων	132
7.3.1	Ἡ ἀνάγκη γιὰ βελτίωση τῆς ταξινόμησης	132
7.3.2	Οἱ ἐννοιες τῆς ὁμοιογένειας καί τῆς τάσης γιὰ συνένωση	135
7.3.2.1	Ἡ ὁμοιογένεια (Homogeneity)	135
7.3.2.2	Ἡ τάση γιὰ συνένωση (Clustering tendency)	137
7.3.3	Ἡ τελικὴ ταξινόμηση	139
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	141
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
8.1	Χαρακτηριστικά τοῦ ψαλτικοῦ ἡχοακούσματος	141
8.1.1	Τό ψαλτικό μῶρφωμα	141
8.1.2	Τό ψαλτικό ἡχόχρωμα	143
8.2	Ψαλτικά χαρακτηριστικά καί ἀντίληψη	144
8.3	Ψαλτικὴ φωνή καί ποιοτικά σημειογραφικὰ σημάδια (ἐκφραση)	146
8.4	Εἶναι ἡ ψαλτικὴ φωνὴ ἑρρινή;	147
8.5	Πιθανὴ καλλιέργεια τῆς ψαλτικῆς φωνῆς	148
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	150
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	
9.1	Ἐπίλογος	150
9.2	Μελλοντικὲς ἐργασίες	151
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	153
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	159
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	175
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στήν Ἀνατολική Ὁρθόδοξη Ἐκκλησία ψάλλεται κατά τήν τέλεση τῶν ἱερῶν ἀκολουθιῶν ἡ μονοφωνική ψαλμωδία ἡ βυζαντινό μουσικό μέλος, ὅπως λέγεται, ἀπό ἱεροψάλτες - μουσικούς οἱ ὅποιοι ἐναλλακτικά ψάλλουν τούς ὕμνους.

Ἡ ἀνάλυση τοῦ βυζαντινοῦ μουσικοῦ μέλους μέ τεχνικές ἐπεξεργασίας σήματος δέν εἶναι παρά ἓνας πολύ γενικός ὅρος, ὁ ὅποιος περιγράφει μιά διαδικασία. Αὐτός ὁ τίτλος ἐπιλέχθηκε ἀρχικά γι' αὐτή τήν διατριβή καί δέν θεωρήθηκε σκόπιμο νά ἀλλάξει ἐφ' ὅσον δηλώνει ἓνα ἀνοικτό πλέον θέμα πρὸς μελέτη, καί προφανῶς, ἀνεξάντλητο σέ μιά καί μόνη διατριβή.

Ἡ μελέτη τῆς «καθ' ἡμᾶς» ἐκκλησιαστικῆς μουσικῆς, δηλαδή τῆς φωνητικῆς μουσικῆς τῆς Ἀνατολικῆς Ὁρθόδοξης Ἑλληνικῆς Ἐκκλησίας, μέχρι τώρα ἀφοροῦσε μουσικές ἐπιστημονικές ἐρευνες ἀπὸ τήν ἄποψη τῆς μουσικολογίας. Πιό συγκεκριμένα, ἀφοροῦσε μελέτες τῶν μουσικῶν διαστημάτων τῶν τριῶν γενῶν καί χροῶν, ἐρευνες ὡς πρὸς τό ὕμνολογικό περιεχόμενο τῶν τροπαρίων, μελέτες ὡς πρὸς τήν παλαιά βυζαντινὴ σημειογραφία καί τήν μεταγραφή της στήν νέα μουσικὴ γραφή μετὰ τήν μεταρρύθμισή της (ἐννοεῖται ἡ μετατροπὴ τοῦ παλαιοῦ συστήματος μουσικῆς γραφῆς στὸ σημερινό ἀπὸ τούς τρεῖς δασκάλους Χρύσανθο ἐκ Μαδύτων, Χουρμούζιο Χαρτοφύλακα καί Γρηγόριο Πρωτοψάλτη τό 1814), μέ συναφές πρόβλημα αὐτό τῆς ἐρμηνείας τῶν ποιοτικῶν σημαδιῶν τῆς σημειογραφίας καθὼς καί ἱστορικές μελέτες. Λιγότερο μελετημένα ἀπὸ τούς νεώτερους μελετητές καί ἐρευνητές τῆς βυζαντινῆς μουσικῆς θέματα, ὑπῆρξαν αὐτά τῶν ρυθμικῶν καί μετρικῶν ποδῶν, τῆς πιστότερης ἀπόδοσης τῶν νοημάτων τῶν ὕμνων ἢ τῆς ἐκφρασης, ὅπως λέγεται, καθὼς καί τό θέμα τῶν πολλῶν σχέσεων μεταξύ τῶν διαφόρων χαρακτηριστικῶν αὐτῆς τῆς μουσικῆς. Ἀξιοσημείωτο ὅσο καί παράξενο, πράγματι, εἶναι τό γεγονός τῆς παντελοῦς ἑλλείψεως μελετῶν ὅσον ἀφορᾷ στὸ μέσο πραγμάτωσης, αὐτοῦ καθ' ἑαυτοῦ τοῦ ἐκκλησιαστικοῦ μουσικοῦ γεγονότος, δηλαδή στήν «ψαλτική» φωνή.

Μερικὲς ἀναφορὲς ὡς πρὸς τήν «ψαλτική» φωνή ἔχουν γίνει σέ διαφόρους συγγραφεῖς εἴτε σέ θέματα ταξινομήσεώς της, γιὰ τὰ ὅποια ἀκολουθοῦν συνήθως τό εὐρωπαϊκὸ πρότυπο αὐτούσιο (Εὐθυμιάδης Ἀ. 1972) ἢ ἐλαφρὰ τροποποιημένο (Καρὰς Σ., 1982), εἴτε σέ θέματα προφύλαξης καί διατήρησής της (Εὐθυμιάδης Ἀ., 1972, Παναγιωτόπουλος Δ. 1991) εἴτε ἀκόμη σέ γενικότερα θέματα λειτουργίας τοῦ ἀνθρώπινου φωνητικοῦ ὀργάνου, ἀπευθυνόμενοι κυρίως σέ τραγουδιστές τοῦ εὐρωπαϊκοῦ τραγουδιοῦ τῆς ὄπερας (Παπαγιαννόπουλος Ι. Ν., 1925, Εὐσταθιανός Ἀ., 1925), χωρὶς ὅμως νά ἀναφέρονται εἰδικότερα στήν «ψαλτική» φωνή, ἀφοῦ ἡ «ψαλτική» φωνητικὴ τέχνη διακρίνεται ἀπὸ μιά διαφορετικὴ αἰσθητικὴ.

Διάφοροι συγγραφεῖς, κυρίως ξένοι, ἔχουν ἀσχοληθεῖ μέ θέματα φωνῆς τοῦ ὀπερατικοῦ τραγουδιοῦ καί ὡς πρὸς τήν διδασκαλία του (Salaman Esther, 1989, Green Alan, 1991, Miller Richard, 1993) ἀλλὰ καί ὡς πρὸς τήν ἀκουστικὴ του ἀνάλυση (Fant, G., 1960, Sundberg J., 1987). Μελέτες γιὰ τήν ἄρθρωση τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου, δηλαδή τήν ὅλη διαμόρφωσή του γιὰ τήν παραγωγή τῶν φωνητικῶν ἤχων (Peterson & Barney, 1952, Ladefoged, P., 1975, Sundberg, J., 1987), τήν λειτουργία τῶν φωνητικῶν χορδῶν (Titze, Ingo R., 1994), τήν λειτουργία τοῦ μυϊκοῦ καί νευρικοῦ φωνητικοῦ συστήματος (Atkinson, J. E. 1978) ἔχουν γίνει ἐπίσης, ἐμπλουτίζοντας τήν γνώση γιὰ τήν φωνή καί διευκολύνοντας τήν περαιτέρω κατανόησή της. Ἔτσι, σήμερα διαθέ-

του με ένα τέτοιο σύνολο γνώσεων γύρω από την φωνή και ειδικότερα την τραγουδιστική φωνή, αρκετό ώστε να μπορέσουμε να μελετήσουμε και την ψαλτική φωνή, ανακαλύπτοντας τα χαρακτηριστικά της και την είσοδό της διαφορά της από τις τραγουδιστικές φωνές άλλων ειδών (στύλ) τραγουδιού.

Τό πρώτο είδος τό όποιο θά ήθελε κανείς να συγκρίνει με την ψαλτική φωνή είναι τό όπερατικό ανδρικό είδος τραγουδιού, τό όποιο μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται στο λυρικό θέατρο και τό όποιο, ως έντεχνο, διδάσκεται συστηματικά και έτσι διατηρείται από γενιά σε γενιά. Η σύγκριση αυτή γίνεται ελπίζοντας ότι και τό ψαλτικό είδος θά καταλήξει επίσης κάποια στιγμή σε συστηματική φωνητική διδασκαλία. Στην παρούσα διατριβή αναφερόμαστε στην ανδρική φωνή επειδή στην εκκλησία ψάλλουν κυρίως άνδρες αλλά θά μπορούσε να επεκταθεί και στις γυναικείες ψαλτικές φωνές.

Τό δεύτερο σημαντικό επίσης στοιχείο της ψαλτικής φωνής είναι ή σχέση της με την καθημερινή όμιλία. Είναι κοινή αίσθηση ότι δέν ακούγονται τό ίδιο αυτά τά δύο είδη φωνών, αλλά όμως, τί είναι αυτό που τά ξεχωρίζει; Έχουν κοινά χαρακτηριστικά και σε τί όφειλονται αυτά; Άπλᾳ έρωτήματα τά όποια πρέπει να απαντηθούν ώστε να προσδιορισθεί τό «περίγραμμα» της ψαλτικής φωνής όριοθετώντάς την ως προς την όμιλία. Άντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει για τό όπερατικό τραγούδι από διάφορους έρευνητές (Bartholomew, W. T., 1934, Sundberg, J., 1970).

Ποιές διαφορές και όμοιότητες εμφανίζουν μεταξύ τους οι φωνές ποικίλων ιεροψαλτών, οι όποιοι έξυπηρετούν τις καθημερινές λειτουργικές ανάγκες των ιερών ναών και είναι γενικά αποδεκτές από τό εκκλησίασμα ως τέτοιες; Θά μπορούσαν πράγματι να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες φωνών, οι όποίες να έχουν «παρόμοια» ποιότητα ακούσματος; Άν αυτό γινόταν έφικτό τότε θά είχαμε διάφορες «ήχοχρωματικές» κατηγορίες ψαλτικών φωνών, έφ' όσον ένα συστατικό του ψαλτικού ακούσματος είναι ή ποιότητά του, την όποια θά όνομάζουμε στό έξής ήχοχρωμα.

Πώς διάφορα ανατομικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με τό παραγόμενο φωνητικό ήχοχρωμα; Μπορεί τό ήχοχρωμα να περιγράψει «φωνητικούς τύπους» άμεσα συσχετιζόμενους με συγκεκριμένα σωματικά χαρακτηριστικά; Άπό προηγούμενες έρευνες στο εύρωπαϊκό λυρικό τραγούδι προκύπτει μιά άμεση σχέση φωνητικής κατηγορίας και ανατομικών χαρακτηριστικών, τά όποια χρησιμοποιήσαμε σ' αυτήν την μελέτη σαν γενικής έφαρμογής συμπεράσματα (Dmitriev & Kiselev, 1979, Seidner W., 1985, Sundberg Johan, 1987.).

Στις καλλιεργημένες φωνές των επαγγελματιών τραγουδιστών της Όπερας υπάρχει τό χαρακτηριστικό της αλλαγής ρεγκίστρου ή φωνητικού διαγράμματος, όπως τό αποκαλούμε στη συνέχεια, σύμφωνα με τό όποιο ό καλλιτέχνης αλλάζει τον «τρόπο» της φώνησής του προκειμένου να τραγουδήσει όλη την μουσική κλίμακα από την πιο χαμηλή νότα μέχρι την πιο ύψηλή. Αυτό τό χαρακτηριστικό τί σχέση έχει με την ψαλτική φωνή; Αυτό είναι ένα έρώτημα, τό όποιο δέν είναι δυνατόν να απαντηθεί στην πληρότητά του λόγω των περιορισμένων παραμέτρων που έχουν μετρηθεί σ' αυτήν την έρευνα αλλά μπορούμε να γίνουν όρισμένες ουσιώδεις παρατηρήσεις με βάση τις παραμέτρους που μελετήθηκαν.

Τά «έργαλεία» μελέτης και έρευνας της φωνής, τόσο της όμιλίας όσο και της τραγουδιστικής φωνής, βασίζονται σε τεχνικές της έπεξεργασίας του ψηφιακού ήχου και κυρίως στα φίλτρα. Θεωρώντας τό σύστημα παραγωγής της φωνής σαν ένα απλό σύστημα πηγής - φίλτρου (Fant, G., 1960), όπου ή πηγή είναι οι φωνητικές χορδές και τό φίλτρο είναι ή φωνητική όδός, τό αρχικό σήμα (όπως λέγεται ό πηγαίος-πρωταρχικός ήχος) παραγόμενο από την πηγή φιλτράρεται μέσα στις κοιλότητες της φωνητικής όδου και έξέρχεται από τά χείλη σαν ήχος φωνής. Άν από

αυτόν τόν ήχο «ἀφαιρεθεῖ» κατάλληλα ἡ ἐπίδραση τοῦ φίλτρου μένει τό σῆμα τῆς πηγῆς διαμορφωμένο κατά τήν ἐκπομπή του μέσω τῶν χειλιῶν (Fant G., 1960, Flanagan J. L., 1972). Ἄν λοιπόν ἐκτιμηθεῖ κατάλληλα τό φίλτρο τό ὁποῖο ἀντιστοιχεῖ στήν φωνητική ὁδὸ εἶναι δυνατό νά γνωρίζομε τήν ἐπίδραση τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ στήν τελική διαμόρφωση τοῦ φωνητικοῦ ἤχου. Σ' αὐτή τήν διατριβή μελετήθηκε μόνο ἡ ἐπίδραση τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ στόν τελικό ἤχο μή λαμβάνοντας ὑπ' ὄψη τόσο τήν πηγὴ ὅσο καί τήν ἐπίδραση τῶν χειλιῶν. Δίνονται ὅμως ὅλα τὰ βασικά στοιχεῖα τῆς παραγωγῆς τῆς φωνῆς, τόσο ἀνατομικά ὅσο καί ἀκουστικά στοιχεῖα, ἀφενὸς ἐπειδὴ αὐτὴ ἡ μελέτη θά μπορούσε νά ἀποτελέσει τὴ βάση γιὰ περαιτέρω ἐρευνα καί ὡς πρὸς τήν πηγαία φωνὴ καί ἀφετέρου γιὰ τήν ἐξαγωγή συμπερασμάτων.

Σημαντικό ἐπίσης εἶναι καί τό θέμα τοῦ πῶς ἀντιλαμβανόμαστε τόν φωνητικό ἤχο ἐπειδὴ ἡ ἀντίληψη σχετίζεται μέ τήν ποιότητά του. Γι' αὐτόν τόν λόγο παρατίθενται ὠρισμένες ἀντιληπτικές ποιότητες σέ κατάταξη καθὼς καί ἡ σχέση τῆς λειτουργίας τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου μέ κάποιες ἀπὸ αὐτές τίς ποιότητες. Παρ' ὅλο πού αὐτές ἀφοροῦν ἀποτελέσματα ψυχοακουστικῶν πειραμάτων σέ τραγουδιστικές φωνές ἄλλων εἰδῶν τραγουδιοῦ (Terhardt, E., 1974, Colton & Estill, 1981) ὅμως μπορούν νά ἐξάχθουν ἀπ' αὐτές συμπεράσματα γενικῆς φύσης γιὰ τήν ἀνθρώπινη φωνή καί νά χρησιμοποιηθοῦν στήν μελέτη τῆς ψαλτικῆς φωνῆς.

Ἀναλυτικά ἀνά κεφάλαιο, τὰ περιεχόμενα τῆς διατριβῆς ἔχουν ὡς ἑξῆς :

Στό πρῶτο κεφάλαιο δίνονται οἱ βασικές ἐννοιες τῆς ἀκουστικῆς τοῦ χώρου καί τῆς ἀνθρώπινης φωνῆς καθὼς καί ἡ βασικὴ ἀνατομία τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου μέ τήν ἀντίστοιχη ὁρολογία τους ἐνῶ περιγράφεται συνοπτικά ἡ λειτουργία τῆς φωνῆς ἀπὸ τήν ἄποψη τῆς φυσιολογίας καί τῆς ἀκουστικῆς. Συζητεῖται ἡ μουσικολογικὴ ἐννοια τοῦ φωνητικοῦ διαγράμματος ἡ ρεγκίστρου σέ σχέση μέ τήν φώνηση, δηλαδή τόν τρόπο παραγωγῆς τῆς φωνῆς.

Στό δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται διάφορες ἀντιληπτικές φωνητικές κατηγορίες ἢ ἡχοχρώματα καθὼς καί οἱ σχέσεις τους μέ τοὺς βασικούς φωνητικούς τρόπους (Colton & Estill, 1981) καί τήν ὅλη διαμόρφωση τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου. Περιγράφονται ἐπίσης, συνοπτικά, οἱ σχέσεις διαφόρων ἀντιληπτικῶν (ψυχοακουστικῶν) παραμέτρων.

Στό τρίτο κεφάλαιο, ἀφοῦ ἐξετασθοῦν οἱ κατηγορίες τῶν φωνῶν στό ὀπερατικό τραγούδι μέ τὰ μουσικολογικά καί ἀκουστικά χαρακτηριστικά τους, περιγράφονται οἱ μέχρι τώρα ἀπόψεις γιὰ τίς κατηγορίες τῶν ψαλτικῶν φωνῶν, τί εἶναι τό ὄφρος, πῶς ἀποδίδεται φωνητικά ἡ μουσικὴ σημειογραφία καί γιατί πρέπει νά διακρίνουμε τίς ψαλτικές φωνές μέ βάση τὰ ἡχοχρώματά τους.

Στό τέταρτο κεφάλαιο ἀναπτύσσονται οἱ βασικές ἐννοιες τῆς ἐπεξεργασίας σήματος καθὼς καί τὰ δύο εἶδη φασματικῶν ἐκτιμήσεων: ἡ κλασσικὴ καί ἡ φασματικὴ. Ἐπίσης προσδιορίζεται τό ὕλικό πού ἀναλύθηκε καί ἡ συνολικὴ μέθοδος ἐργασίας σ' αὐτὴν τήν μελέτη καθὼς καί ἡ μέθοδος ἐκτίμησης τῶν φωνοσυντονισμῶν (formants).

Στό πέμπτο κεφάλαιο δίνονται ὅλα τὰ ἀποτελέσματα τῆς ἀνάλυσης, δηλαδή οἱ τιμές τῶν συχνότητων καί τῶν ἰσχύων τῶν φωνοσυντονισμῶν καί τὰ σχετικὰ γραφήματα, μαζί μέ παράλληλο ἐλεγχό τοῦ ὕλικου.

Στό ἕκτο κεφάλαιο προτείνεται μιὰ νέα ταξινόμηση τῶν ψαλτικῶν φωνῶν βασιζόμενη σέ ἀκουστικά καί ἐν μέρει σέ ψυχοακουστικά χαρακτηριστικά τους.

Στό ἑβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τὰ συμπεράσματα γιὰ τήν ψαλτικὴ φωνή καί τίς προοπτικές αὐτῆς τῆς ἐργασίας γιὰ τήν καλλιέργεια τῆς φωνῆς.

Στόν ἐπίλογο ἀναφέρονται μελλοντικές ἐργασίες, οἱ ὁποῖες μπορούν νά γίνουν πρὸς τήν κατεύθυνση τῆς πληρέστερης γνώσης τῆς ψαλτικῆς φωνῆς ἀλλὰ καί τῶν

πιθανών εφαρμογών των συμπερασμάτων αυτής της εργασίας σε άλλες επιστημονικές έρευνες.

Τελικά, μετά τα παραρτήματα με τις ρουτίνες ανάλυσης και τα ένδεικτικά δεδομένα, παρατίθενται και οι σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΩΝΗΤΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ

2.1 Είσαγωγή

Αρχικά, είναι χρήσιμο νά περιγραφεί τό φωνητικό όργανο, δηλαδή τό ανθρώπινο σωματικό όργανο παραγωγής τής φωνής, άφενός μέν, ως πρός τήν ανατομική του κατασκευή καί λειτουργία του - φυσιολογία, καί άφετέρου δε, ως πρός τήν άκουστική του, δηλαδή τά χαρακτηριστικά τής διάδοσης του ήχου μέσα σ' αυτό.

Ός πρός τήν άκουστική, χρειάζεται νά όρισθοῦν μερικές γενικές βασικές έννοιες, οί όποίες αναφέρονται στή συνέχεια, γιά λόγους πληρότητας τής διατριβής αλλά καί έπειδή χρησιμοποιήθηκαν στίς μετρήσεις κάποιες άπ' αυτές. Μιά ήχογράφηση γίνεται μέσα σέ κάποιο χῶρο καί τό μικρόφωνο τοποθετείται σέ κάποια άπόσταση άπό τό πρόσωπο του τραγουδιστή. Τά χαρακτηριστικά του χῶρου (άντήχηση ή ὄχι), τά ηλεκτρικά καί άκουστικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου καθώς καί ή θέση του έπιρρεάζουν άμεσα τήν καταγραφή του φωνητικού ήχου.

Συνοπτικά περιγράφεται ή ανατομία του φωνητικού όργάνου, χωρίς τό νευρικό του σύστημα γιά λόγους απλότητας, μέ αρκετά σχήματα του λάρυγγα μέ σκοπό τήν διασάφηση τής λειτουργίας των μυών του στον βαθμό πού είναι έως σήμερα γνωστό. Όρίζονται οί ειδικές άκουστικές παράμετροι πού σχετίζονται μέ τήν λειτουργία του φωνητικού όργάνου τόσο μέ τήν φωνητική πηγή όσο καί μέ τήν φωνητική ὁδό, καί περιγράφονται οί διάφοροι τρόποι λειτουργίας αυτής τής φωνητικής πηγής σέ συνάρτηση μέ τό φάσμα συχνοτήτων του ήχου πού αυτή παράγει (πηγαία φωνή).

Τέλος, παρουσιάζεται αναλυτικά ή λειτουργία τής φωνητικής ὁδοῦ όπου γίνεται φανερή ή επίδρασή της στο φάσμα τής πηγαιάς φωνής σύμφωνα μέ τή θεωρία του συστήματος πηγής - φίλτρου (Fant, G., 1960). Οί ιδιαίτερες συχότητες συντονισμού τής φωνητικής ὁδοῦ, δηλαδή οί φωνοσυντονισμοί (formants), καθορίζονται άπό ποικίλους παράγοντες, σύμφωνα μέ τήν έως τώρα έρευνα, οί όποιοι αναφέρονται αναλυτικά ως πρός τήν συγκεκριμένη επίδρασή τους στο φάσμα τής φωνής. Αὐτοί οί παράγοντες λέγονται άρθρωτικοί (articulatory) έπειδή συντελοῦν στήν άρθρωση των φωνέντων. Ειδικά στο όπερατικό τραγούδι, εμφανίζεται ένας χαρακτηριστικός φωνοσυντονισμός, ὁ όποιος έχει μελετηθεῖ άκουστικά καί άρθρωτικά άπό τόν Sundberg (1974) καί περιγράφεται έδῶ αναλυτικά. Αὐτός ὁ φωνοσυντονισμός είναι έντελῶς άπαραίτητος στο φάσμα τής άνδρικής όπερατικής τραγουδιστικής φωνής. Περιγράφεται άκόμη ή συγκεκριμένη επίδραση τής ρινικής κοιλότητας στο φάσμα τής φωνής καθώς καί ή σχέση του φωνητικού διαγράμματος ή ρεγκίστρου μέ τόν τρόπο λειτουργίας τής φωνητικής πηγής ή τό είδος τής «φώνησης», ὅπως λέγεται.

2.2 Άκουστική

2.2.1 Βασικές έννοιες

Μέσα σ' ένα κλειστό χῶρο, ὅπως ὁ χῶρος των ιερῶν ναῶν, διαδίδονται ήχητικά κύματα, τά όποία ανήκουν στήν κατηγορία των ελαστικών κυμάτων. Τά ελαστικά κύματα μποροῦν νά διαδοθοῦν σέ μέσο πού έχει τήν ιδιότητα ελαστικότητας.

Καθώς τό κύμα διαδίδεται στον χώρο (πού περιέχει αέρα), μιά μικρή μάζα του αέρα, τήν όποία θά συναντήσσει στον δρόμο του, τίθεται σέ παλινδρομική κίνηση, δηλαδή σέ ταλάντωση, ή όποία όφειλεται στίς δυνάμεις ελαστικότητας. Αύτή ή μάζα αέρος αποτελείται από έκατομύρια μόρια, δηλαδή είναι τόσο μεγάλη, ώστε νά μπορούν νά όρισθοῦν ή πίεση καί ή πυκνότητά της αλλά καί τόσο μικρή ώστε νά έχει μιά ένιαία ταχύτητα σάν μάζα. Τά ήχητικά κύματα πού μπορούν νά διαδοθοῦν μέσα στό χώρο μπορεί νά είναι: επίπεδα κύματα, αποκλίνοντα, σφαιρικά, όδεύοντα καί στάσιμα κύματα. Τά επίπεδα κύματα σχηματίζουν επίπεδο «μέτωπο» κύματος ενώ τά σφαιρικά σφαιρικό «μέτωπο». Τά αποκλίνοντα εκτείνονται συνεχώς στον χώρο, τά όδεύοντα μεταφέρουν ενέργεια κατά τήν διεύθυνση διάδοσής τους ενώ τά στάσιμα περιορίζουν τήν ήχητική τους ενέργεια μέσα σέ κάποιο χώρο δημιουργώντας σταθερά μέγιστα καί ελάχιστα στήν πίεση του αέρα.

Τό πλάτος ταλάντωσης μιᾶς μικρῆς μάζας αέρος, δηλαδή τό μισό τῆς ὅλης διαδρομῆς της, καθώς τό ήχητικό κύμα τήν διαπερνᾷ, κυμαίνεται περίπου μεταξύ τῶν 10^{-7} mm καί μερικῶν mm, ὅπου ή ελάχιστη τιμή πλάτους ἀναφέρεται στό κατώφλι ἀκουστότητας. Ἐπειδή μικρό πλάτος ταλάντωσης σημαίνει μικρή ήχητική ενέργεια, τό κατώφλι ἀκουστότητας ἀναφέρεται στον πιό ἀσθενῆ ἤχο δηλαδή μόλις ἀκουστό. Ἡ μέγιστη τιμή του πλάτους ἀντιστοιχεῖ στό ὄριο πόνου καί στον πιό ισχυρό ἤχο. Αύτή ή μικρή μάζα, καθώς κινεῖται παλινδρομικά δημιουργεῖ πυκνώματα καί ἀραιώματα στον αέρα, μέσα στήν περιοχή πού κινεῖται, τά ὅποια συνεπάγονται μεταβολές στήν πίεσή του. Αὐτές οἱ μεταβολές είναι πολύ μικρές τέτοιες ὥστε γιά ἕναν νέο ἐνήλικα ή μικρότερη πού μπορεί νά ἀντιληφθεῖ εἶναι $2 \cdot 10^{-5}$ N/m, καί μετροῦνται σάν ήχητική πίεση. Είναι γνωστό ὅτι ή ἀτμοσφαιρική πίεση είναι τῆς τάξης τῶν 10^5 N/m, δηλαδή 10 τάξεις μεγέθους πάνω ἀπό τήν μικρότερη ήχητική πίεση. Ἡ ήχητική πίεση σχετίζεται μέ τήν «ἀκουστότητα» (loudness) του ἤχου μέ τήν ὅποια σχετίζεται ἐπίσης καί ή ήχητική ἔνταση καί ή σωματιδιακή ταχύτητα, ἀλλά μεταξύ τῶν τριῶν, ή ήχητική πίεση είναι ή πιό βολική παράμετρος γιά νά μετρηθῇ.

Σέ θεωρητικές μελέτες ἀκουστικῶν φαινομένων ἐκφράζουμε τήν ήχητική πίεση (sound pressure), ήχητική ἔνταση (sound intensity), καί ήχητική ἰσχύ (sound power) σέ N/m, W/m² καί W ἀντίστοιχα. Σέ πρακτικές μετρήσεις ὅμως χρησιμοποιοῦμε λογαριθμικές κλίμακες λόγω τῶν εὐρέων ὁρίων τῶν τιμῶν πού μετροῦμε. Ἐτσι οἱ ἀκουστές ἐντάσεις πού συναντοῦμε εἶναι ἀπό 10^{-12} ἕως 10 W/m² (Ginn, K. B, 1978).

Ἐνας λόγος ἀκόμη ὅσον ἀφορᾷ στήν χρήση λογαριθμικῶν κλιμάκων εἶναι ὅτι ή ἀνθρώπινα ἀκοή προσλαμβάνει τήν σχετική ἀκουστότητα (loudness) δύο ἤχων μέ βάση τόν λόγο τῶν ἐντάσεών τους, δηλαδή λογαριθμικά. Ἡ μονάδα πού χρησιμοποιεῖται γενικά εἶναι τό ντεσιμπέλ (decibel) dB ή ὅποια ὁρίζεται γιά λόγο ἰσχύων ή ἐνεργειῶν ή ἐντάσεων r ὡς ἑξῆς:

$$10 \cdot \log_{10} r = 1 \quad (2.1.)$$

ἐνῶ γιά λόγους σωματιδιακῶν ταχυτήτων ή ήχητικῶν πιέσεων ὡς ἑξῆς:

$$20 \cdot \log_{10} r = 1 \quad (2.2.)$$

ὅπου γιά τό λόγο r χρειάζεται πάντοτε ὁ παρονομαστής του νά έχει μιά τιμή ἀναφορᾶς πού συνήθως εἶναι αὐθαίρετη. Ἐτσι εἶναι προτιμότερο νά χρησιμοποιοῦμε τόν ὅρο «στάθμη» (level) παρά τούς προηγούμενους ὅπως ἀναφέρθηκαν. Λέμε

λοιπόν στάθμη ήχητικής πίεσης (*sound pressure level - SPL*), στάθμη ήχητικής ισχύος (*sound power level - SWL*), στάθμη έντασης (*intensity level - IL*).

Ο χώρος μέσα στον οποίο διαδίδονται ήχητικά κύματα λέμε ότι αποτελεί ένα ήχητικό πεδίο (*sound field*). Όταν ένα μικρόφωνο τοποθετηθεί σε ένα ήχητικό πεδίο ή ακουστική παράμετρος που μετρείται πραγματικά εκείνη την στιγμή είναι η SPL, η οποία προκύπτει από τον λόγο της διαφορικής ήχητικής πίεσης στη θέση του μικροφώνου εκείνη την στιγμή προς μία τιμή πίεσης αναφοράς που συνήθως είναι στο όριο ακουστότητας.

2.2.2 Η έκπομπή του ήχου

Η ακουστική ισχύς που εκπέμπεται από το στόμα ενός τραγουδιστή απλώνεται σφαιρικά γύρω από το κεφάλι (Flanagan, 1972) και διασκορπίζεται στον χώρο. Έτσι, όταν κάποιο μικρόφωνο τοποθετηθεί σε κάποιο σημείο, μόνο ένα μικρό μέρος αυτής της ισχύος συλλαμβάνεται από αυτό. Για να ληφθεί ολόκληρη η ισχύς πρέπει να καλυφθεί το στόμα και η μύτη κατάλληλα, όπως για παράδειγμα μία μάσκα με κατάλληλο μηχανισμό (Rothenberg, 1973).

Σε ακτίνα R από το πρόσωπο, η ήχητική ένταση I , όταν η μέση ήχητική ισχύς είναι \overline{P}_a , δίνεται από την σχέση

$$I = \frac{\overline{P}_a}{4\pi R^2} \quad (2.3.)$$

καί ο λόγος πιέσεων r είναι

$$r = \frac{P}{P_o} \quad (2.4.)$$

Χρησιμοποιώντας μία τιμή αναφοράς για την ήχητική ένταση ίση με 10^{-12} watt/m² τότε σε απόσταση 0.5m από το πρόσωπο του τραγουδιστή η SPL δίνεται από την σχέση (Titze, 1994)

$$SPL = 10 * \log_{10} \overline{P}_a + 115dB \quad (2.5.)$$

απ' την οποία προκύπτει ότι για εκπεμπόμενη ακουστική ισχύ ίση με 1watt ο λόγος SPL είναι ίσος με 115dB. Επειδή οι περισσότεροι τραγουδιστές δεν μπορούν να δώσουν στο μισό μέτρο από το στόμα τους 115dB συμπεραίνουμε ότι η μέγιστη ακουστική ισχύς που εκπέμπουν είναι μικρότερη από 1watt.

Γενικά η έκπομπή του ήχου από το στόμα έχειδειχθεί από τον Flanagan (1972) ότι είναι ανάλογη με την έκπομπή ήχου από ταλαντούμενο έμβολο μέσα σε σφαιρικό ήχεϊο, όπου η σφαίρα είναι το κεφάλι και το έμβολο είναι η γλωττίδα με την φωνητική όδο και τα χείλη, που παράγουν την ροή αέρος. Αυτό το ανάλογο λειτουργεί καλά για συχνότητες μέχρι 6kHz, αλλά για μεγαλύτερες συχνότητες αποτυγχάνει. Αν θεωρήσουμε ότι το ποσοστό ενέργειας που εκπέμπεται σε μεγαλύτερες συχνότητες για το τραγούδι είναι πολύ μικρό, τότε το μοντέλο έμβολο - ήχεϊο είναι αρκετά καλό για έξομοίωση της έκπομπής ήχου από το κεφάλι.

Γιά κάθε διπλασιασμό της απόστασης από αυτήν την ήχητική πηγή ή SPL μειώνεται κατά 6dB (νόμος αντιστρόφου τετραγώνου).

2.2.3 Ηχητικό πεδίο ήχητικής πηγής και αντήχηση

Τό ήχητικό πεδίο είναι ακριβώς ο χώρος, γύρω από μία ήχητική πηγή, όπου διασπείρεται ο ήχος. Διακρίνεται στο κατευθείαν (*direct field*) πεδίο και στο αντηχητικό (*reverberant field*) πεδίο. Ένας κλειστός χώρος παρουσιάζει τό φαινόμενο της αντήχησης κατά τό όποιο ο πηγαίος ήχος μέ διαδοχικές ανακλάσεις διαχέεται μέσα στον χώρο συντηρούμενος και εξασθενούμενος βαθμιαία.

Αν μέσα στον χώρο υπάρχουν ήχοαπορροφητικά υλικά ή αυτός είναι μικρών διαστάσεων σέ σχέση μέ τό μήκος κύματος του ήχου τότε ο ήχος εξασθενεί πάρα πολύ γρήγορα και λέμε ότι πρόκειται για «νεκρή» (*dead room*) αίθουσα (άνηχικός χώρος). Αν δέν συμβαίνει αυτό και έχουμε μεγάλο χρόνο αντήχησης τότε μιλάμε για μία «ζωντανή» (*live room*) αίθουσα. Ο χρόνος αντηχήσεως είναι ανάλογος του όγκου της αίθουσας και αντιστρόφως ανάλογος του συντελεστή συνολικής απορρόφησης για κάθε ήχοαπορροφητικό μέσο της αίθουσας. Χονδρικά ή απορρόφηση μέσα στον αέρα του διαδιδόμενου ήχου μεγαλώνει μέ την συχνότητα (Ginn, K. B., 1978), πράγμα που σημαίνει ότι οι ύψηλες αρμονικές απορροφώνται περισσότερο, ενώ μέσα στά άλλα υλικά είναι κάπως διαφορετικά μέ αρκετή απορρόφηση πάλι για συχνότητες από 2000Hz έως 4000Hz (Ginn, 1978).

Λόγω της αντήχησης ή στάθμη του ήχου παραμένει περίπου σταθερή μέσα στο αντηχητικό (διάχυτο) πεδίο ενώ στο κατευθείαν (ελεύθερο) πεδίο ελαττώνεται κατά 6dB ανά διπλασιασμό της απόστασης, για την περίπτωση μιᾶς ήμιαντηχητικής αίθουσας. Προφανώς όσο πιο κοντά στην πηγή τόσο μεγαλύτερη ή επίδραση του άμεσου ήχητικού πεδίου έναντι της αντήχησης.

2.2.4 Φάσμα του εκπεμπόμενου φωνητικού ήχου

Καθώς ο ήχος απομακρύνεται από τό άνοιγμα των χειλιών και πλησιάζει τά αυτιά του ίδιου του τραγουδιστή δέν φθάνουν μέ τό ίδιο πλάτος όλες οι αρμονικές συνιστώσες του ήχου όπως ξεκίνησαν. Πιο συγκεκριμένα οι χαμηλές αρμονικές μέχρι 1000Hz δέν υφίστανται καμμία σχεδόν απώλεια ισχύος ενώ οι ύψηλες αρμονικές έχουν γίνει περίπου κατά 10dB ασθενέστερες (Sundberg & Gauffin, 1974). Αυτό σημαίνει ότι δέν εκπέμπονται, προς όλες τις κατευθύνσεις από τον τραγουδιστή, τό ίδιο όλες οι συχνότητες παρά μόνο οι χαμηλές συχνότητες ενώ οι ύψηλες συχνότητες εκπέμπονται κυρίως κατά την εμπρόσθια διεύθυνση και κατευθείαν από τό πρόσωπο του τραγουδιστή. Έτσι οι ύψηλες συχνότητες έχουν μεγαλύτερη κατευθυντικότητα, όσον αφορά τον χώρο κοντά στον τραγουδιστή. Αυτό είναι τυπικό χαρακτηριστικό της κυματικής διάδοσης επειδή κύματα μεγάλου μήκους κύματος μπορούν να εκτρέπονται γύρω από εμποδία ενώ τά μικρού μήκους κύματος όχι. Συμπεραίνεται πως μία αξιόπιστη ήχογράφηση πρέπει να γίνεται εμπρός ακριβώς από τό στόμα του τραγουδιστή και σε σταθερή απόσταση, έτσι ώστε τόσο οι χαμηλές όσο και οι ύψηλες αρμονικές του εκπεμπόμενου ήχου να φθάνουν μέ την ίδια σχέση ήχητικής έντασης για όλες τις ήχογραφήσεις.

2.3 Φωνή και ανατομία του φωνητικού ὀργάνου

2.3.1 Τί είναι φωνή

Γενικά φωνητικοί ἤχοι (voice sounds) εἶναι ὁμιλία (speech), τραγούδι (singing), ψίθυρος (whispering), γέλιο, χασμουρητό κ.λ.π., γιὰ τοὺς ὁποίους μποροῦμε νὰ δώσουμε τὸν ἐξῆς ὀρισμό: κάθε ἤχος θεωρεῖται φωνητικός ἂν παράγεται μέσα στό φωνητικό ὄργανο. Οἱ φωνητικοί ἤχοι διακρίνονται: α) στοὺς ἐμφώνους (voiced) οἱ ὁποῖοι παράγονται ἀπὸ ρεῦμα ἀέρος πού, προερχόμενο ἀπὸ τοὺς πνεύμονες, δονεῖ τίς φωνητικές χορδές (vocal cords), μέσα ἀπὸ τίς ὁποῖες διέρχεται καί τροποποιεῖται ἀπ' τὸν φάρυγγα, τὸ στόμα καί τίς ρινικές κοιλότητες, καί β) στοὺς ἀφώνους (unvoiced) οἱ ὁποῖοι δέν δημιουργοῦνται μέ διέγερση τῶν φωνητικῶν χορδῶν ἀλλὰ μέ ἄλλον τρόπο διέγερσης ὅπως π.χ. μιά στένωση στό φωνητικό ὄργανο.

Ὁμιλία εἶναι τὸ διατεταγμένο σύνολο τῶν ἰδιαιτέρων ἐκείνων φωνητικῶν ἤχων οἱ ὁποῖοι συνδυαζόμενοι δημιουργοῦν προτάσεις λόγου, δηλαδή ἓναν ἀκουστικό κώδικα ὁ ὁποῖος ἔχει τὴν ἐνδοκωδική του διαφοροποίηση βασισμένη στό φᾶσμα τῶν ἤχων. Τραγούδι εἶναι ὁ ἐμμελής λόγος: ἄρα περιέχει ὁμιλία ἀλλὰ καί ἄλλους φωνητικούς ἤχους. Οἱ ἤχοι τοῦ τραγουδιοῦ (singing sounds) εἶναι κυρίως οἱ ἐμφωνοὶ ἤχοι αὐτοὶ πού συνήθως λέγονται νότες ἢ τόνοι ἢ φθόγγοι (Βυζαντινὴ μουσική).

Τὸ φωνητικό ὄργανο (voice organ) παράγει τοὺς φωνητικούς ἤχους καὶ περιλαμβάνει: τὸ ἀναπνευστικό σύστημα, τίς φωνητικές χορδές καί τοὺς διαύλους τὸν στοματικό καί τὸν ρινικό.

Ὅ, τι ὀνομάζουμε τελικά φωνή (voice) εἶναι ἄρρηκτα συνδεδεμένο μέ τὸ πρόσωπο πού τὴν δημιουργεῖ καί ἐκφράζεται μέσω αὐτῆς ἀφοῦ καμμιὰ φωνή δέν εἶναι ἐντελῶς ἴδια μέ μιά ἄλλη. Ἐδῶ θὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν ἔννοια τῆς φωνῆς σάν συνώνυμη μέ τοὺς ἐκφωνημένους ἤχους πού ἔχουν κάποια ἡχητικά χαρακτηριστικά τὰ ὁποῖα ἀποτελοῦν τὸ ἡχόχρωμα ἢ τίμπρο (ἡχόχρωμα - timbre). Τὸ ἡχόχρωμα ἐξαρτᾶται ἐν μέρει ἀπὸ τὸν τρόπο μέ τὸν ὁποῖο τὸ φωνητικό ὄργανο χρησιμοποιεῖται ἀλλὰ καί ἀπὸ τὴν μορφολογία τοῦ ἴδιου τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου.

2.3.2 Ἡ ανατομία τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου (voice organ)

Τὸ φωνητικό ὄργανο συνίσταται σέ τρία συστήματα: α) τὸ σύστημα ἀναπνοῆς (breathing apparatus), β) τὸ σύστημα παραγωγῆς τῆς φωνῆς δηλαδή τίς φωνητικές χορδές (vocal folds - vocal cords), καί, γ) τὴν φωνητικὴ ὁδὸ (vocal tract). Ἡ τελευταία ἀποτελεῖται ἀπὸ τίς τρεῖς κοιλότητες: φαρυγγική - στοματική - ρινική (pharyngeal - oral - nasal cavities) ὅπως παριστάνονται στό σχῆμα 2.1.

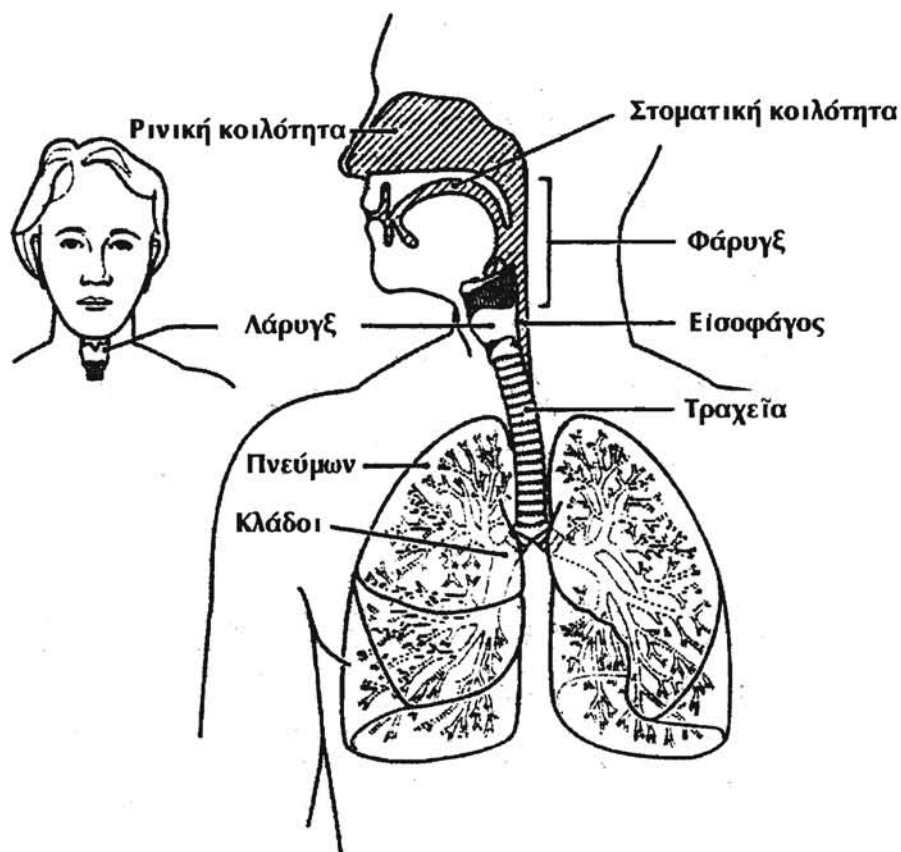
2.3.2.1 Τὸ σύστημα ἀναπνοῆς

Βασικό ὄργανο στό σύστημα τῆς ἀναπνοῆς εἶναι οἱ πνεύμονες πού ἔχουν σπογγώδη δομὴ καί κρέμονται μέσα στὸν θώρακα ἐνῶ συνδέονται μέσω τῆς τραχείας μέ τὸ ὑπόλοιπο σύστημα. Τὸ σύστημα ἀναπνοῆς βασίζεται ἀκόμη:

α) στοὺς μῦς τῶν πλευρῶν τοῦ θώρακα διασταλτικούς καί συσταλτικούς, πού ἐκτείνουν τὸν θώρακα ἢ τὸν συμπίεζουν, κατὰ τὴν εἰσπνοή ἢ ἐκπνοή ἀντίστοιχα,

β) στοὺς μῦς τοῦ κοιλιακοῦ τοιχώματος, οἱ ὁποῖοι συνεισφέρουν στὴν λειτουργία τῆς ἐκπνοῆς, καί

γ) στο διάφραγμα. Όταν συμβαίνει η εισπνοή, ο διαφραγματικός μύς, από σχήμα ανάποδου κυπέλλου που έχει (σχ. 2.2), αποκτά επίπεδο σχήμα συστέλλομενος προς τα κάτω, ενώ λειτουργούν οι διασταλτικοί μύες των πλευρών του θώρακα και χαλαρώνουν οι κοιλιακοί μύες (σχ. 2.3). Κατά την έκπνοή, συστέλλονται οι κοιλιακοί μύς ωθώντας προς τα πάνω το διάφραγμα και λειτουργούν οι συσταλτικοί πλευρικοί μύες.



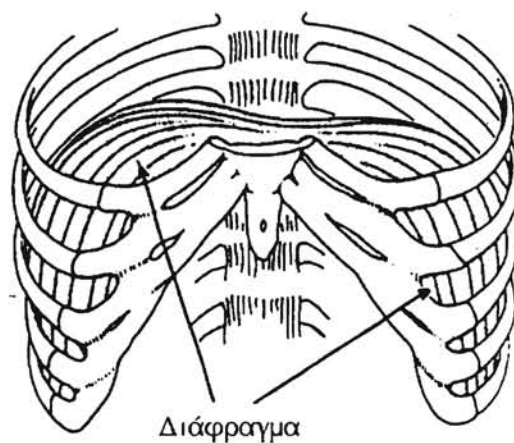
Σχήμα 2.1. Γενική θεώρηση του φωνητικού ὀργάνου. Διακρίνονται οἱ πνεύμονες, ὁ λάρυγγας καί, ἡ στοματική καί ρινική κοιλότητα (φωνητική ὁδός) (58).

Σημαντικό ρόλο στήν ἀναπνοή παίζουν καί οἱ λεγόμενες παθητικές ἐλαστικές δυνάμεις εισπνοῆς καί ἐκπνοῆς, πού ὀφείλονται στήν ἀλλαγὴ τοῦ ὀγκοῦ τῶν πνευμόνων. Συμπερασματικά, τό διάφραγμα εἶναι ὁ κύριος ἀναπνευστικός μύς ἐνῶ οἱ κοιλιακοί μύες εἶναι οἱ κύριοι ἐκπνευστικοί μύες.

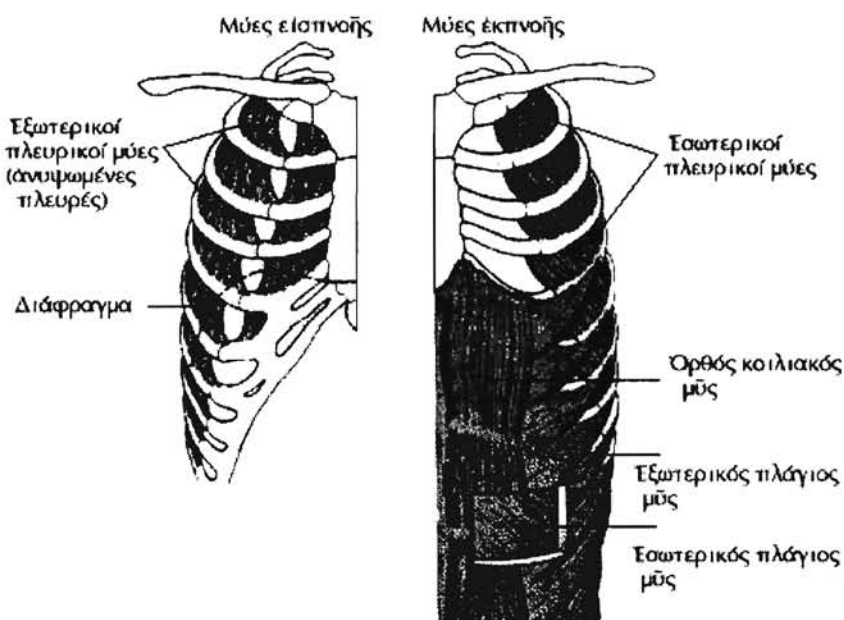
2.3.2.2 Ὁ λάρυγγας

Τό σύστημα παραγωγῆς τῆς φωνῆς περιλαμβάνει τίς φωνητικές χορδές μέ ἕνα σύστημα μυῶν, οἱ ὁποῖοι τίς ἀπαρτίζουν, καί οἱ ὁποῖες τοποθετοῦνται μέσα στόν λαρυγγικό σωλήνα.

Ο λαρυγγικός σωλήνας είναι μᾶλλον κοντός καί στενός μέ μήκος περίπου ἕνα ἡ δύο ἑκατοστά καί εἰσέρχεται στό κάτω μέρος ἑνός πολύ εὐρύτερου καί μακρύτερου σωλήνα, ὁ ὁποῖος εἶναι ὁ φάρυγγας, μέσα στόν ὁποῖο καί πρὸς τίς δύο πλευρές τοῦ λαρυγγικοῦ σωλήνα σχηματίζονται οἱ ἀπιοειδεῖς κόλποι (piriform sinuses).

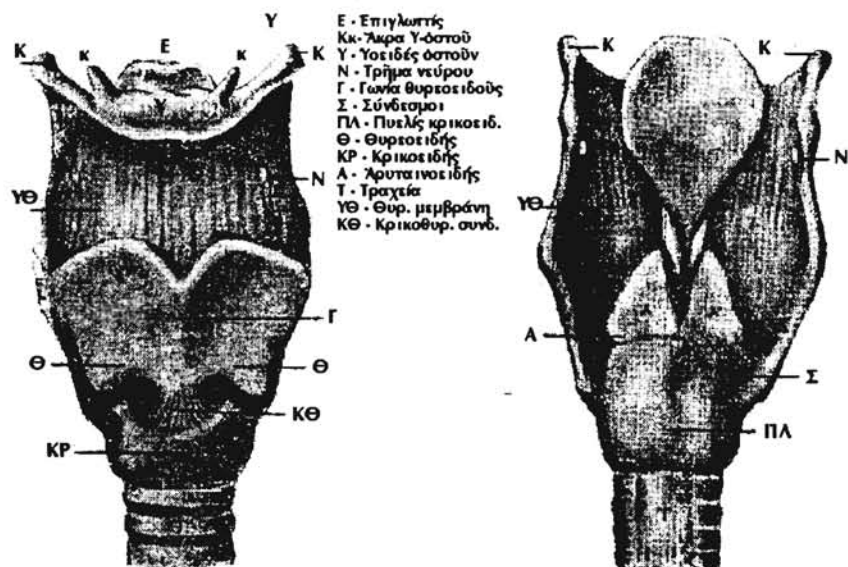


Σχῆμα 2.2. Τό διάφραγμα εἶναι σέ σχῆμα ἀνάποδου κυπέλλου ὅταν εἶναι χαλαρό καί παίζει σημαντικό ρόλο κατὰ τήν ἐκπνοή (54).

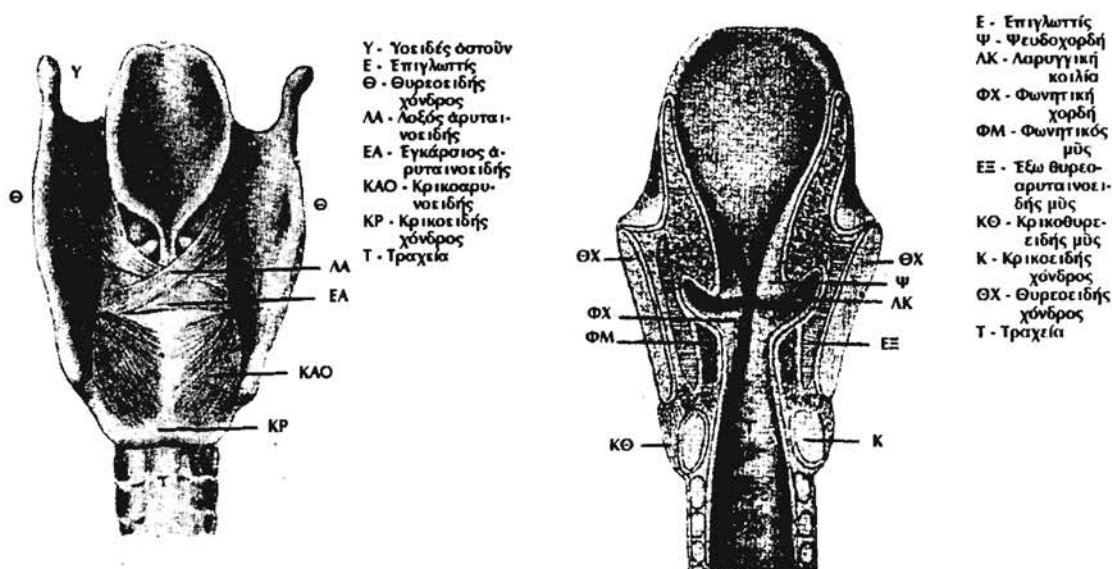


Σχῆμα 2.3. Τό μυϊκό σύστημα τῆς ἀναπνοῆς. Διακρίνονται οἱ θωρακτικοί καί οἱ κοιλιακοί μύες καί τό διάφραγμα (37).

Ἡ συνολικὴ κατασκευὴ τοῦ λάρυγγα γίνεται μιά προσπάθεια νά ἀποδοθεῖ στὰ κατωτέρω σχήματα, δεδομένης τῆς τρισδιάστατης μορφῆς του καθὼς καὶ τῆς πολυσύνθετης δομῆς του.



Σχῆμα 2.4. Τὰ σκληρά μέρη τοῦ λάρυγγα σέ ἐμπρόσθια (ἀριστερά) καὶ ὀπίσθια ὄψη (δεξιὰ) (69).



Σχῆμα 2.5. Ὅπίσθια ἀποψη τῶν μυῶν τοῦ λάρυγγα (69).

Σχῆμα 2.6. Κατακόρυφη τομὴ τοῦ λάρυγγα καὶ ὀπίσθια ἀποψή του, ὅπου φαίνονται οἱ λαρυγγικὲς κοιλίες καὶ ὠρισμένοι μῦες (69).

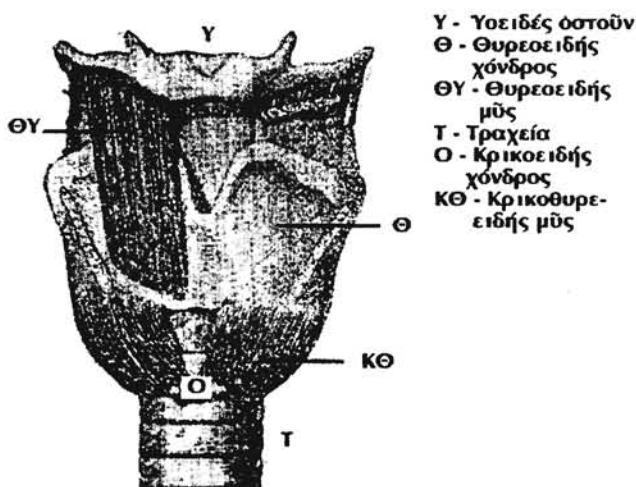


Τά μέρη τοῦ λάρυγγα

Σημαντικό ρόλο στὴν παραγωγή τῆς φωνῆς παίζουν τὰ σκληρά καὶ μαλακά μέρη τοῦ λάρυγγα.

Τὰ σκληρά μέρη του εἶναι: **α)** Ὑοειδές ὀστοῦν, **β)** κρικοειδῆς χόνδρος (*cricoid cartilage*), **γ)** θυρεοειδῆς χόνδρος (*Thyroid cartilage*), **δ)** ἀρυταινοειδεῖς χόνδροι (*arytenoid cartilages*), καὶ **ε)** ἡ ἐπιγλωττίς, (βλέπε σχῆμα. 2.4) οἱ ὁποῖοι συνδέονται καὶ κινοῦνται μέ τὴν λειτουργία μιᾶς σειρᾶς μυῶν, οἱ ὁποῖοι ἀποτελοῦν τὰ μαλακά μέρη τοῦ λάρυγγα, τὰ ὁποῖα εἶναι:

α) Οἱ φωνητικοὶ ἢ θυρεοαρυταινοειδεῖς σύνδεσμοι (Τὰ χεῖλη τῶν φωνητικῶν χορδῶν), **β)** οἱ φωνητικοὶ ἔσω θυρεοαρυταινοειδεῖς μύες, **γ)** οἱ φωνητικοὶ ἔξω θυρεοαρυταινοειδεῖς μύες (*Thygoarytenoid muscles*) ποὺ ἀποτελοῦν τοὺς φωνητικούς μύς, **δ)** οἱ κρικοθυρεοειδεῖς, **ε)** ὀπίσθιοι κρικοαρυταινοειδεῖς, **στ)** πλάγιοι κρικοαρυταινοειδεῖς, **ζ)** λοξοὶ ἀρυταινοειδεῖς, **η)** ὁ ἐγκάρσιος ἀρυταινοειδῆς μῦς, **θ)** οἱ θυρεοῦοειδεῖς μύες καὶ **ι)** οἱ στερνοθυρεοειδεῖς μύες (σχήματα 2.5 ἕως 2.8). Κάθε μέρος τῆς ὅλης κατασκευῆς ἔχει τὴν δική του λειτουργικὴ χρησιμότητα ποὺ θὰ περιγράψουμε στή συνέχεια (M. Prives - et al, 1989).



Σχῆμα 2.7. Εμπρόσθια ἄποψη τοῦ λάρυγγα καὶ τῆς τραχείας (69).

Οἱ βασικοὶ χόνδροι καὶ τὸ ὑοειδές ὀστοῦν, δηλαδή, τὰ σκληρά τμήματα τῆς λάρυγγικῆς κατασκευῆς τοποθετοῦνται ἀπὸ κάτω πρὸς τὰ πάνω ὡς ἑξῆς: **α)** Ὁ κρικοειδῆς βρίσκεται στὸ ἐπάνω μέρος τῆς τραχείας, **β)** ὁ θυρεοειδῆς στηρίζεται, σάν σέ βάθρο, στὸν κρικοειδῆ χόνδρο, **γ)** ἡ ἐπιγλωττίδα βρίσκεται ἐπάνω ἀπὸ τὸν θυρεοειδῆ σέ μορφή φύλλου, **δ)** τὸ ὑοειδές ὀστοῦν σέ σχῆμα U ἔχει τὸ κοῖλο μέρος στραμμένο πρὸς τὸν λάρυγγα, καὶ **ε)** οἱ ἀρυταινοειδεῖς χόνδροι ἀρθρώνονται μέ σημαντικὴ εὐκίνησις σάν τριγωνικὲς πυραμίδες ἐπάνω στὸν κρικοειδῆ. Στὴν ἔξω γωνία τῶν ἀρυταινοειδῶν προσφύονται μύες γιὰ νὰ τίς περιστρέφουν, ἐνῶ στὴν ἔσωτερικὴ γωνία προσφύονται οἱ φωνητικὲς χορδές (σχ. 2.8).

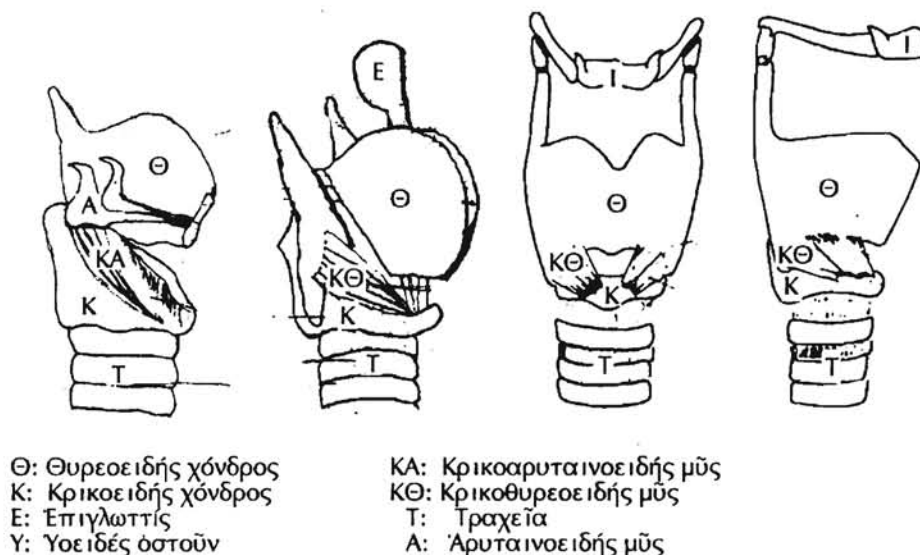
Μεταξύ ὑοειδοῦς ὀστοῦ καὶ τοῦ θυρεοειδοῦς χόνδρου ὑπάρχει ἰσχυρὴ συνδετικὴ μεμβράνη (σχ. 2.4). Ὁ θυρεοειδῆς ἔχει στὸ πίσω μέρος δύο λεπτά χόνδρινα κέρατα τὰ ὁποῖα συνδέονται μέ τὸ ὑοειδές ὀστοῦν.

Οι φωνητικές χορδές αποτελούνται από μύες που έχουν την μορφή πτυχών και καλύπτονται από βλεννογόνο μεμβράνη. Τό μήκος τους ξεκινά από 3mm για τό νεογέννητο και φθάνει μέχρι 15 έως 20mm για τούς άνδρες και 9 έως 13mm για τίς γυναίκες, ενώ παίζει σημαντικό ρόλο στην έκταση τής φωνής (pitch range), δηλαδή πόσο μεγάλη διαφορά έχει ή υψηλότερη νότα από την χαμηλότερη που μπορεί νά παράγει. Βρέθηκε ότι τό μήκος δέν έχει τόσο σημαντική σχέση μέ τό ύψος του ατόμου αλλά μάλλον μέ την περιφέρεια του λαιμού (Sawashima et al. 1983).

Μεταξύ των φωνητικών χορδών και των ψευδοχορδών υπάρχει πρὸς τίς δύο πλευρές τους ἐγκόλπωση που λέγεται κόλπος του Μοργκάνη (*Sinus of Morgagni*) ή λαρυγγική κοιλία (σχ. 2.6).

Ήδη συμπληρώθηκε ή κλειστή περιοχή μέσα στην ὁποία περιέχεται τό φωνητικό σύστημα του ὅλου φωνητικού ὄργανου και προχωροῦμε στην περιγραφή τής φυσιολογίας των μυών που αποτελοῦν τόν λάρυγγα.

ΟΙ συνδέσεις και ή λειτουργία των λαρυγγικών μυών



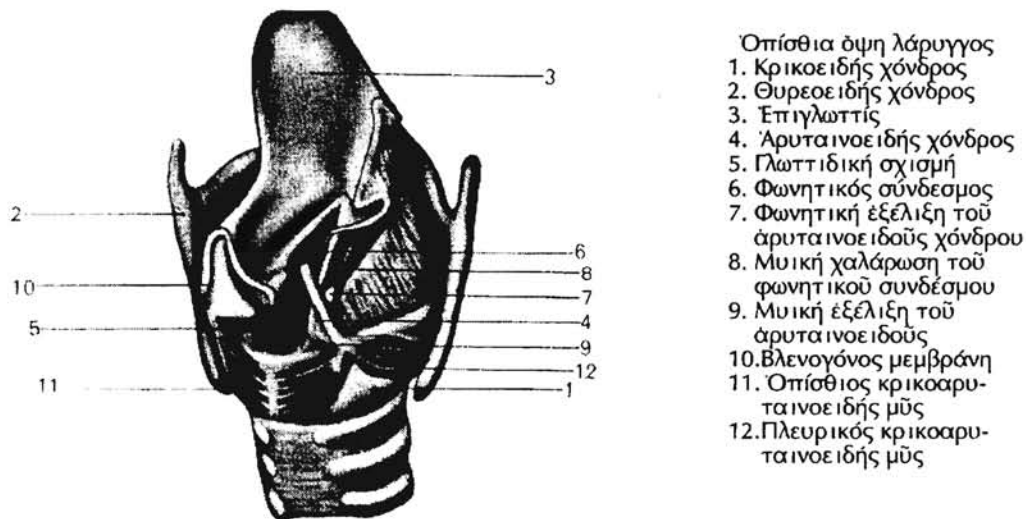
Σχῆμα 2.8. Σχηματική ἀναπαράσταση τής δομής του λάρυγγα (54) .

Πρὶν ἀναφέρουμε τίς συνδέσεις κάθε μῦς πρέπει νά διατυπώσουμε τόν κανόνα σύμφωνα μέ τόν ὁποῖο ὀνοματοθετοῦνται οἱ διάφοροι μῦες. Ἰσχύει λοιπόν ὅτι τό πρῶτο συνθετικό του ὀνόματος του μῦς ἀναφέρεται στό πιό σταθερό, κινητικό, μέρος πρόσφυσής του ἐνῶ τό δεύτερο συνθετικό στό πιό κινητό μέρος πρόσφυσής του. Ἔτσι οἱ θυρεοαρυταινοειδεῖς ἔχουν τή μιά τους πρόσφυση, τήν πιό σταθερή, στόν θυρεοειδῆ χόνδρο ἐνῶ τό κυρίως κινούμενο τμήμα του μῦς βρίσκεται πάνω στόν ἀρυταινοειδῆ. Πιο συγκεκριμένα για τούς θυρεοαρυταινοειδεῖς υπάρχουν τρία εἶδη: σύνδεσμοι, ἔσω καί ἔξω μῦες. (Παπαγιαννόπουλου, Ι. Ν., 1925).

Οἱ φωνητικοί ἢ ἔσω θυρεοαρυταινοειδεῖς μῦες ἐκφύονται στην ἀκμή του θυρεοειδοῦς χόνδρου (δίεδρος γωνία) καί ἐκατέρωθεν των φωνητικών συνδέσμων οἱ ὁποῖοι αποτελοῦν τά χεῖλη των φωνητικών χορδών (σχ 2.9α, 2.8). Οἱ ἔξω θυρεο-

αρυταινοειδεῖς μύες αποτελοῦν συνέχεια, πρὸς τὴν περιφέρεια τοῦ θυρεοειδοῦς καὶ πρὸς τὰ πάνω, τῶν ἑσῶ θυρεοαρυταινοειδῶν μυῶν (σχ. 2.10).

Ἡ σχισμὴ μεταξύ τῶν φωνητικῶν χορδῶν λέγεται γλωττίς (*glottis*) καὶ τὸ ἀνοίγοκλείσιμό της ὀδηγεῖται ἀπὸ ἀνευρύνοντες καὶ σφυγκτῆρες μῦς τοῦ λάρυγγα. Ἡ γλωττιδική σχισμὴ ἔχει, κατὰ τὴν ἀναπνοή, ἰσοσκελές τριγωνικὸ σχῆμα ὅπου ἡ κορυφή του βρίσκεται πρὸς τὰ ἔμπρως, δηλαδή πρὸς τὴν διέδρη γωνία τοῦ θυρεοειδοῦς χόνδρου. Οἱ κρικοθυρεοειδεῖς μύες ἐκτείνονται μεταξύ κρικοειδοῦς καὶ



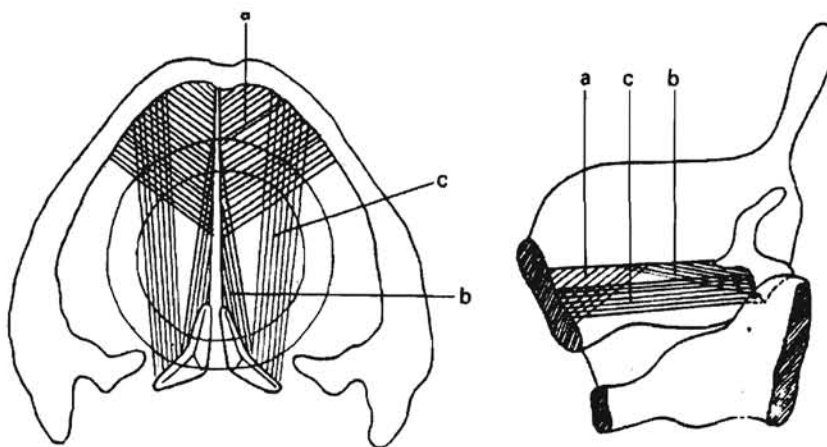
Σχῆμα 2.9α. Οἱ βασικοὶ μύες γιὰ τὴν φώνηση, ἀπὸ τὴν πίσω πλευρὰ τοῦ λάρυγγα (37).



Σχῆμα 2.9β. Ὁ βασικός μηχανισμός τῆς φωνητικῆς διαδικασίας (φώνηση). Οἱ φωνητικοὶ σύνδεσμοι χαλαρώνουν μέσω τοῦ θυρεοφωνητικοῦ μυός (8) (*vocalis*) καὶ τῆς συστολῆς τῶν κρικοαρυταινοειδῶν, ἀνοίγοντας τὴν γλωττίδα (37).

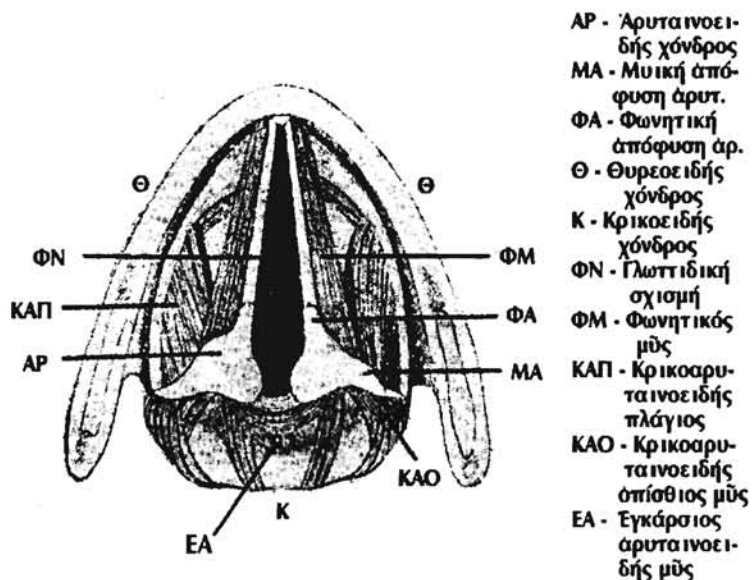
θυρεοειδοῦς χόνδρου στό ἐμπρόσθιο μέρος τοῦ λάρυγγα πλάγια καὶ δεξιὰ καὶ ἀριστερά τῆς μεσαίας γραμμῆς. Οἱ ὀπίσθιοι κρικοαρυταινοειδεῖς μύες μεταξύ τῆς ὀπίσθιας ἐπιφάνειας τοῦ κρικοειδοῦς καὶ τῆς μυϊκῆς ἐξέλιξης τοῦ ἀρυταινοειδοῦς, οἱ πλάγιοι κρικοαρυταινοειδεῖς μύες συμμετρικὸ ζεῦγος πρὸς τὰ πίσω, πρὸς τὰ πάνω καὶ πλάγια, καὶ πρὸς τίς δύο πλευρές τῆς ἐσωτερικῆς ἐπιφάνειας τοῦ θυρεοειδοῦς, οἱ λοξοὶ ἀρυταινοειδεῖς μύες συμμετρικὸ ζευγάρι διασταυρούμενων μυῶν ἐκτεινόμενο μεταξύ τῶν ἀρυταινοειδῶν στὴν ὀπίσθια ἐπιφάνειά τους, καὶ ὁ

έγκάρσιος άρυταινοειδής μύς πού συνδέει όριζόντια τούς δύο άρυταινοειδεῖς (σχήματα 2.9α-β, 2.10 καί 2.11). Οί θυρεοϋοειδεῖς μύες πού εἶναι συμμετρικό ζεϋγος μεταξύ ύοειδοῦς ὀστοῦ καί θυρεοειδοῦς χόνδρου ὅταν συστέλλονται πλησιάζουν τό ύοειδές ὀστούν πρὸς τόν λάρυγγα. Ἀντίθετα, οἱ ανταγωνιστές τους στερνοθυρεοειδεῖς ὅταν συστέλλονται καθελκύουν τόν λάρυγγα καί τό ύοειδές ὀστούν.



Σχῆμα 2.10. Σχηματική ἀναπαράσταση τῶν τριῶν φωνητικῶν μυῶν. α) Θυρεομυϊκός, β) θυρεοφωνητικός, καί γ) θυρεοαρυταινοειδής (37).

Ἡ λειτουργικότητα αὐτῶν τῶν μυῶν ἐπηρεάζει καθοριστικά τήν χρήση τῆς φωνῆς. Συγκεκριμένα: Ἡ συστολή τῶν ἔξω θυρεοαρυταινοειδῶν καθιστᾷ τήν γλωττι-



Σχῆμα 2.11. Σχηματική ἀπό ἐπάνω, ἀποψη τοῦ λάρυγγα καί τῶν μυῶν του (69).

δική σχισμή στενότερη, ή συστολή τῶν κρικοθυρεοειδῶν προκαλεῖ μιά κλίση τοῦ θυρεοειδοῦς πρὸς τὸν κρικοειδῆ χόνδρο μέ συνέπεια τήν ἀλλαγὴ τοῦ μήκους τῶν φωνητικῶν χορδῶν. Οἱ ὀπίσθιοι κρικοαρυταινοειδεῖς συστελλόμενοι διευρύνουν τήν γλωττιδική σχισμή στρέφοντας τοὺς ἀρυταινοειδεῖς. Τέλος ή συστολή τῶν πλαγίων καί λοξῶν κρικοαρυταινοειδῶν προκαλεῖ τήν προσέγγιση τῶν φωνητικῶν χορδῶν μεταξύ τους στενεύοντας τήν γλωττίδα (σχ. 2.9β).

Μέ συστολή καί διαστολή τῶν θυρεοαρυταινοειδῶν μυῶν καί ἄλλων λεπτῶν μυϊκῶν δεσμίδων τοῦ Horman καί τοῦ Ruediger, πού συμπλέκονται μέ τίς ἴνες τῶν θυρεοαρυταινοειδῶν, τά τοιχώματα τῶν λαρυγγικῶν κοιλιῶν συστέλλονται καί διαστελλονται.

2.3.2.3 Ἡ φωνητική ὁδός

Στή βάση τοῦ φάρυγγα, στό ὀπίσθιο μέρος τῶν ἀπιοειδῶν κόλπων καί ἀκριβῶς πίσω ἀπ' τοὺς ἀρυταινοειδεῖς, ὑπάρχει τό ἀνοιγμα πρὸς τόν στόμαχο ἐνῶ ή ἐπιγλωττίδα κλείνει, κατά τήν κατάποση, τό στόμιο τοῦ λαρυγγικοῦ σωλῆνα πρὸς ἀποφυγὴ ἀπόφραξής του μέ τροφή.

Τό ὀπίσθιο τοίχωμα τοῦ φάρυγγα ἀποτελοῦν οἱ αὐχενικοὶ σπόνδυλοι, τά πλευρικά του τοιχώματα εἶναι διάφοροι συσταλτικοὶ μύες, στό ἐμπρόσθιο μέρος του εἶναι ή βάση τοῦ λαρυγγικοῦ σωλῆνα, ἐπάνω του ή ἐπιγλωττίδα καί πιό ψηλά ή γλῶσσα. Ἡ γλῶσσα ἀρχίζει ἀπ' τό ὑοειδές ὅστουν, ἐνῶ ή ρίζα της φθάνει κάτω ἀπὸ τό ἀνώτερο ἄκρο τῆς ἐπιγλωττίδος σχηματίζοντας μιά κοιλότητα ἀνάμεσα στήν ρίζα τῆς γλῶσσας καί τό ἀνώτερο μέρος τῆς ἐπιγλωττίδας.

Τέλος, ή ὀροφή τοῦ φάρυγγα ἀποτελεῖ τήν μαλακή ὑπερώα (οὐρανίσκο), ή ὁποία συνιστᾷ τήν πύλη τῆς ρινικῆς κοιλότητας καί σχηματίζει τό ὀπίσθιο μέρος τοῦ στόματος. Ἡ ρινική κοιλότητα διαιρεῖται στό ἀνώτερο μέρος της σέ δύο ἐπί μέρους κοιλότητες οἱ ὁποῖες καταλήγουν στοὺς ρῶθωνες. Στήν ὀροφή της στενοὶ διάδρομοι ὁδηγοῦν στοὺς γναθιαίους καί μετωπιαίους κόλπους (maxillary and frontal sinuses).

2.4 Λειτουργία καί ἀκουστική τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου

2.4.1 Βασικὲς ἔννοιες καί σχέσεις τους

Σ' αὐτὴν τήν παράγραφο θά περιγράψουμε τήν λειτουργία καί τήν ἀκουστική τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου δίνοντας κατ' ἀρχὴν τό βασικὸ ἀκουστικὸ μοντέλο πού τό περιγράφει. Εἶναι ἀπαραίτητο νά ὀρισθοῦν οἱ βασικότεροι ὅροι πού χρησιμοποιοῦνται κατά τήν μελέτη τῆς φωνῆς γενικότερα.

Ἀπὸ τήν ἀποψη τῆς φυσιολογίας χρειάζεται νά ὀρισθοῦν οἱ θεμελιώδεις ὅροι: α) Φώνηση (Phonation), β) πηγαία φωνή (voice source), γ) ἄρθρωση (articulation).

α) Φώνηση εἶναι ή παραγωγή ἤχου μέσω τῶν δονήσεων τῶν φωνητικῶν χορδῶν. β) Πηγαία φωνή εἶναι ὁ πρωταρχικὸς ἤχος πού παράγεται ἀπὸ τίς φωνητικὲς χορδές μόλις τίς περάσει ἓνα ρεῦμα ἀέρος. γ) Ἡ ἄρθρωση εἶναι τό ὅλο περίγραμμα τοῦ φωνητικῆς ὁδοῦ τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου (vocal tract), τό ὁποῖο διαμορφώνει ἀκουστικά τό πηγαῖο σῆμα.

2.4.1.1 Έννοιες σχετιζόμενες με την φώνηση και την πηγαία φωνή:

α) *Η υπογλωττιδική πίεση* είναι η πίεση κάτω από την κλειστή γλωττιδική σχισμή καθώς ο αέρας συγκεντρώνεται εκεί, και παίζει σημαντικότατο ρόλο στην ταλάντωση των φωνητικών χορδών ενώ σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φώνησης. *Η υπογλωττιδική πίεση* είναι η πίεση του αέρα μέσα στην στοματική κοιλότητα την στιγμή έκφωσης του συμφώνου /π/, ακολουθούμενου από ένα φωνήεν και μπορεί να μετρηθεί και με λεπτή βελόνα μέσα στην τραχεία διά μέσου των ιστών κάτω από τον κρικοειδή. Τυπική τιμή πιέσεως : περίπου $10\text{cmH}_2\text{O} \approx 1\text{kPa}$ δηλαδή όσο και η πίεση στους πνεύμονες για όμιλία σε δυνατή ένταση (Titze, 1994).

β) *Η άκουστότητα της φώνησης (loudness of phonation)* έχει υποκειμενικό χαρακτήρα, αφού όταν αλλάζει το ύψος (pitch) ενός φθόγγου και ενώ η αντίληψη της έντασης παραμένει η ίδια, η φυσική ήχητική ένταση (sound level) μπορεί να αλλάξει αρκετά ντεσιμπέλ (dB). Ήχοι με την ίδια ακουστική ενέργεια γίνονται αντιληπτοί ως ισχυρότεροι αν έχουν συχνότητα μεταξύ 1000 και 3000Hz ενώ ακούγονται ασθενέστεροι για συχνότητες έξω απ' αυτήν την ζώνη συχνοτήτων (Fletcher, 1953, Gold B., 2000).

γ) *Η συχνότητα φώνησης (phonation frequency)* είναι η συχνότητα ταλάντωσης των φωνητικών χορδών. Βρέθηκε ότι η αύξηση της συχνότητας φώνησης αυξάνει την υπογλωττιδική πίεση, όπως και η αύξηση της εντάσεως της φώνησης. Τυπικές τιμές της συχνότητας φώνησης από 165Hz σε 330Hz (Mi3 - Mi4), για τραγουδιστή τενόρο έδωσαν τιμές πιέσεως από $3\text{cmH}_2\text{O}$ μέχρι $33\text{cmH}_2\text{O}$ ($1\text{cmH}_2\text{O}=1/1000\text{Atm}$). Η υπογλωττιδική πίεση μεταβάλλεται ταχύτατα και πάντοτε σύμφωνα με την συχνότητα φώνησης (Sundberg, 1987).

δ) *Η ροή αέρα (airflow)* διά μέσου της γλωττίδος εκφράζεται σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο, και βρέθηκε ότι σχετίζεται με την καλή τεχνική του τραγουδιστή με την έννοια ότι όσο πιο μικρή ροή αέρα τόσο καλύτερη τεχνική, (για λόγους οικονομίας του αποθηκευμένου στους πνεύμονες αέρα) χωρίς όμως να είναι ο μοναδικός παράγοντας καλής τεχνικής. Τυπική της τιμή για το άσμα είναι 0.5 liters/sec ή λιγότερο. Το γλωττιδόγραμμα ροής (flow glottogram) δείχνει την ροή αέρα μέσα από την γλωττίδα συναρτήσει του χρόνου (σχήμα 2.12).

ε) *Η γλωττιδική αντίσταση (glottal resistance)* ορίζεται σαν το πηλίκο της υπογλωττιδικής πιέσεως προς την διαγλωττιδική ροή, και εκφράζει την δυσκολία ροής του αέρα μέσα απ' την γλωττίδα. Όταν η γλωττίδα είναι κλειστή, η ροή αέρα είναι μηδενική και επομένως η γλωττιδική αντίσταση άπειρη, ενώ όταν η γλωττίδα είναι τελείως ανοικτή η γλωττιδική αντίσταση είναι μηδέν. Η γλωττιδική αντίσταση προέρχεται από την *ακουστική έμπέδηση (Acoustic Impedance)*, για ένα σωλήνα, η οποία είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα και της ταχύτητας του ήχου και αντίστροφα ανάλογη του έμβადου εγκάρσιας διατομής του σωλήνα.

στ) Η παράμετρος, μέγιστος ρυθμός της μεταβολής της ροής αέρα (maximum rate of airflow change), ορίζεται ο ρυθμός προσέγγισης (closing rate) της γλωττιδικής σχισμής (Sundberg, J., 1987, Fant, G. 1960).

2.4.1.2 Έννοιες σχετιζόμενες με την άρθρωση:

α) *Τό μήκος φωνητικής όδου (vocal tract length)* ορίζεται το μήκος της διαδρομής μεταξύ γλωττίδος και ανοίγματος χειλέων. Το σχήμα ποικίλλει κατά μήκος της φωνητικής όδου και μάλιστα η διατομή για κάθε σημείο του, η οποία μπορεί να περιγραφεί με το έμβადό της.

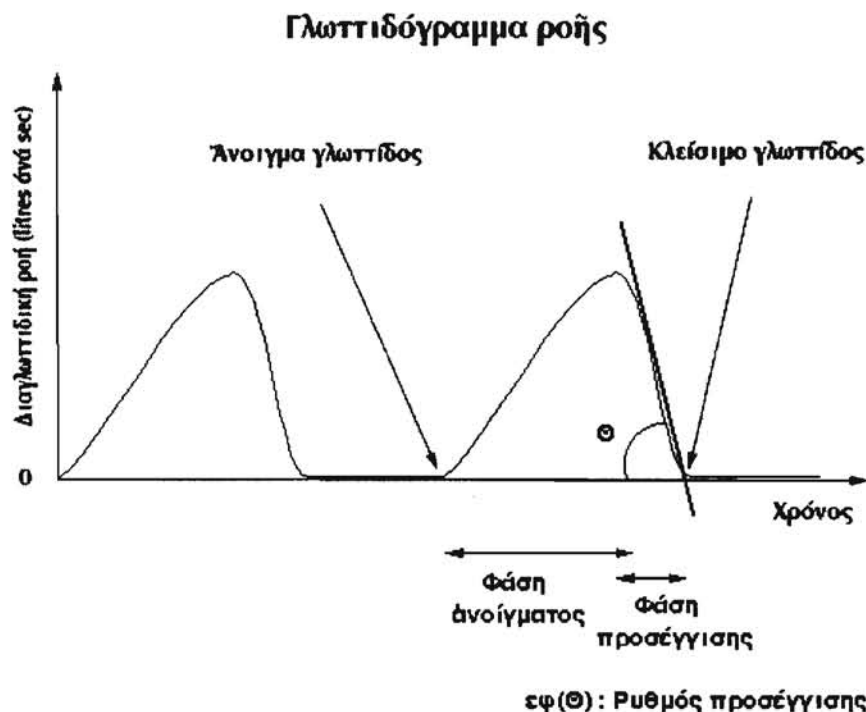
β) Έτσι, αν για κάθε σημείο του κατά μήκος άξονα της φωνητικής οδού, αντιστοιχηθεί τό έμβαδό της διατομής του σ' αυτό τό σημείο, προκύπτει μιά συνάρτηση ή όποία λέγεται *συνάρτηση έπιφάνειας (area function)*. Πρέπει νά αναφερθεϊ ότι τά παιδιά έχουν μικρότερο μήκος φωνητικής οδού από τίς γυναίκες κι αυτές μικρότερο από τούς άνδρες.

γ) Η δυνατότητα της φωνητικής οδού του φωνητικού όργάνου νά μεταφέρει ήχο από τήν γλωττίδα στά χείλη εξαρτάται ισχυρά από τήν συχνότητα καί περιγράφεται από τήν *συνάρτηση μεταφοράς ήχου (sound transfer function)*.

2.4.1.3 Μουσικολογικές έννοιες

Αν καί τό μουσικολογικό μέρος αυτής της εργασίας θά μελετηθεϊ αργότερα, είναι απαραίτητο, για λόγους κατανόησης των άμέσως έπομένων, νά όρισθοϋν στό σημείο αυτό κάποιες μουσικές έννοιες. Έτσι, από τήν άποψη της μουσικολογίας χρειάζεται νά όρίσουμε τούς θεμελιώδεις όρους: α) τό *ρεγκίστρο ή φωνητικό διάγραμμα (register)*, καί, β) τήν *φωνητική έκταση (pitch range)*.

α) Ο όρος ρεγκίστρο ή φωνητικό διάγραμμα (register) δέν έχει κάποια γενικά άποδεκτή έννοια, αλλά αυτό πού συνήθως έννοοϋμε είναι μιά περιοχή συχνοτήτων φώνησης έντός της όποίας όλες οι νότες, για τήν ίδια φωνή, γίνονται άντιληπτές σαν νά έχουν τήν ίδια φωνητική ποιότητα, καί οι όποϊες έχουν παραχθεϊ κατά παρόμοιο τρόπο μέσα στό φωνητικό όργανο (Sundberg, 1987).



Σχήμα 2.12. Τό γλωττιδόγραμμα ροής παριστᾷ τήν ροή του αέρα διά μέσου της γλωττίδος καί περιλαμβάνει: α) τήν άνοικτή φάση, όπου ή γλωττίδα είναι άνοικτή, καί β) τήν κλειστή φάση όπου ή γλωττίδα είναι κλειστή. Η άνοικτή φάση υποδιαιρείται στίς φάσεις άνοίγματος καί προσέγγισης (54).

β) Ἡ φωνητική έκταση (pitch range) γιὰ μιὰ τραγουδιστική φωνή ὀρίζεται ἡ περιοχή συχνότητων φώνησης, δηλαδή ὅλες οἱ νότες ἀπὸ τὴν μικρότερη μέχρι τὴν μεγαλύτερη, τίς ὁποῖες μπορεῖ νὰ παράγει τὸ φωνητικό σύστημα ἑνὸς τραγουδιστῆ.

2.4.2 Πηγαία φωνή

Εἶδαμε ὅτι τὸ φωνητικό ὄργανο ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸ σύστημα τῆς ἀναπνοῆς, τὴν φωνητική ὁδὸ καὶ τίς φωνητικές χορδές. Τὸ σύστημα ἀναπνοῆς εἶναι ἕνας συμπιεστής ἀέρος (*compressor*), οἱ φωνητικές χορδές ἕνας ταλαντωτής (*oscillator*), καὶ ἡ φωνητική ὁδὸς ἕνας συντονιστής (*resonator*) (Σχ. 2.2). Αὐτὸ τὸ ἀκουστικό μοντέλο ἐργάζεται ἀπλᾶ: Ὁ συμπιεστής στέλνει μὲ ὀρμὴ ρεῦμα ἀέρος, τὸ ὁποῖο, περνώντας μέσα ἀπὸ τὴν γλωττιδική σχισμὴ, θέτει σὲ ταλάντωση τὰ χεῖλη τῆς (φωνητικές χορδές), καί, ὁ ἦχος ποὺ παράγεται διαμορφώνεται κατάλληλα ἀπὸ τὸν συντονιστὴ, ὁ ὁποῖος λειτουργεῖ σὰν ἕνα εἶδος φίλτρου.

Ὅταν τὸ ρεῦμα ἀέρος περάσει ἀνάμεσα στὶς φωνητικές χορδές, αὐτές ἀρχίζουν νὰ ἀνοίγοκλείνουν τὴν γλωττιδική σχισμὴ λόγω, κυρίως, τῶν δυνάμεων Bernoulli ποὺ ἀναπτύσσονται, κόβοντας ἔτσι τὸ ρεῦμα ἀέρος σὲ μιὰ σειρά παλμῶν ἀέρος.

Ἡ ἐξήγηση τοῦ ὅλου φαινομένου μπορεῖ νὰ δοθεῖ εἴτε θεωρώντας τὴν κάθε φωνητική χορδὴ ὡς ἐνιαία μάζα (μοντέλο μιᾶς μάζας - *one-mass model*) εἴτε θεωρώντάς τὴν ὡς σύνολο μαζῶν δύο ἢ τριῶν ἢ περισσοτέρων (μοντέλο δύο ἢ τριῶν ἢ πολλῶν μαζῶν - *two, three, multi-mass model*) εἶναι ἡ ἐξῆς:

Γιὰ τὸ μοντέλο μιᾶς μάζας, ὅταν ἡ ὑπογλωττιδική πίεση φτάσει σὲ μιὰ μέγιστη τιμὴ, τὸ ἀποτέλεσμα εἶναι νὰ ὑπερνικηθεῖ ἡ συνολικὴ δύναμη ποὺ κρατᾷ τὴν γλωττίδα κλειστὴ, δηλαδή οἱ δυνάμεις τῶν λαρυγγικῶν μυῶν, καὶ νὰ ἀνοίξη, ἀφῆνοντας νὰ περάσει μιὰ ποσότητα ἀέρος (Φάση ἀνοίγματος - *opened phase*) (σχ. 2.12) ἡ ὁποία ἔχει ἀποκτήσει μιὰ ἐπιταχυνόμενη κίνηση. Τὴν ἐπόμενη στιγμὴ, λόγω τῆς ἀδράνειας αὐτῆς τῆς μάζας ἀέρος, αὐτὴ συνεχίζει νὰ κινεῖται πρὸς τὴν ἐξοδο τῆς γλωττίδος ὁπότε ἡ ὑπογλωττιδική πίεση ἐλαττώνεται ταχύτατα καὶ μάλιστα ἀποκτᾷ μικρότερη τιμὴ (δηλαδή ὑποπίεση ποὺ εἶναι μικρότερης τιμῆς ἀπὸ τὴν μέση πίεση τοῦ ἀέρα ἐκείνης τῆς στιγμῆς μέσα στὴν φωνητική ὁδὸ) καὶ ἄρα ἀσκοῦνται δυνάμεις ἐπαναφορᾶς πάνω στοὺς φωνητικούς συνδέσμους (κάθετες στὴν διεύθυνση ροῆς τοῦ ἀέρα) ὁπότε καὶ τοὺς ἐπαναφέρουν στὴν ἀρχικὴ τους θέση κλείνοντας τὴν γλωττιδική σχισμὴ καὶ μηδενίζοντας τὴν ροὴ τοῦ ἀέρα (Φάση προσέγγισης - *closed phase*). Τὴν στιγμὴ τῆς ὑποπίεσης δὲν θὰ ἐκλείναν οἱ φωνητικές χορδές ἂν τὸ ρεῦμα ἀέρος συνεχιζόταν. Ἐκεῖνο ποὺ σταματᾷ τὸ ρεῦμα εἶναι ἡ ἀδράνεια τοῦ ἀέρα τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ πάνω ἀπ' τὴν γλωττίδα. Ἐτσι ἔχουν τὸν «χρόνο» οἱ φωνητικές χορδές νὰ κλείσουν (Titze I. R., 1994).

Τὸ ὅλο φαινόμενο ἐπαναλαμβάνεται συνεχῶς μὲ ἀποτέλεσμα τὴν ταλάντωση τῶν φωνητικῶν χορδῶν καὶ τὴν παραγωγὴ ἤχου συγκεκριμένης συχνότητας. Γιὰ παράδειγμα, ὅταν ὁ ψάλτης ἀπαγγέλλει τὸν φθόγγο Κε τῆς μέσης περιοχῆς, (περίπου ἀντίστοιχος τοῦ La (A3) μὲ θεμελιώδη συχνότητα 220 Hz), οἱ φωνητικές του χορδές ἀνοίγοκλείνουν 220 φορές τὸ δευτερόλεπτο.

Ἡ ἀνωτέρω περιγραφή θὰ ἦταν μὴ πραγματοποιήσιμη ἂν δὲν ὑπῆρχε ἡ φωνητική ὁδὸς μὲ τὴν ἀπαραίτητη ἀδράνεια τοῦ ἀέρα τῆς (Titze, 1994), ἀλλὰ εἶναι καὶ πολὺ ἀπλουστευμένη ἀφοῦ εἶναι γνωστὸ ὅτι ἡ ὅλη φωνητικὴ χορδὴ δὲν κινεῖται σὰν μονάδα ἀλλὰ τὸ κατώτερο τμήμα τῆς προηγεῖται στὴν *προσαγωγή* (*adduction*) τῶν φωνητικῶν χορδῶν ἔναντι τοῦ ἀνωτέρου τὸ ὁποῖο ἀκολουθεῖ. Μὲ τὸν ὅρο προσαγω-

γή έννοοῦμε τήν προσέγγιση τῶν φωνητικῶν συνδέσμων καί τό κλείσιμο τῆς γλωττίδας. Ἡ αντίθετη λειτουργία τῆς ἀπομάκρυνσής τους λέγεται ἀπαγωγή (*abduction*), ἐνῶ καί οἱ δύο λειτουργίες ἐλέγχονται ἀπ' τό μυϊκό σύστημα τό ὁποῖο περιγράψαμε ἤδη.

Πρέπει ἐπίσης νά σημειώσουμε ὅτι, γιά νά ξεκινήσει τό φαινόμενο Bernoulli, εἶναι ἀναγκαῖο ἡ γλωττιδική σχισμή νά ἔχει κατάλληλα στενό εὖρος ὥστε νά δημιουργηθεῖ ἀρχικά ἡ κατάλληλη ὑποπίεση ἀνάμεσα στά χεῖλη τῶν φωνητικῶν συνδέσμων, ἡ ὁποία θά κλείσει τήν γλωττίδα στή συνέχεια. Τό ἀπαραίτητο αὐτό πλάτος σχισμῆς κανονίζεται ἀπό τούς μῦς προσαγωγῆς καί ἀπαγωγῆς τῶν φωνητικῶν χορδῶν. Πιο συγκεκριμένα, ἡ συστολή τοῦ πλευρικοῦ κρικοαρυταινοειδοῦς προσάγει (προσεγγίζει) τίς φωνητικές χορδές ἐνῶ ἡ συσταλτική κίνηση τοῦ ὀπίσθιου κρικοαρυταινοειδοῦς τίς ἀπάγει (ἀπομακρύνει). Αὐτοί οἱ μῦες εἶναι οἱ κυριότεροι ἀπό τούς σημαντικούς μῦς γιά τίς λειτουργίες αὐτές. Συνοπτικά ἡ λειτουργία τῶν μυῶν τῶν φωνητικῶν χορδῶν περιγράφεται στόν πίνακα 2.1.

Ὁ ἀποφασιστικῆς σημασίας ἐλεγχος τῆς ὑπογλωττιδικῆς πίεσης, ἀπαραίτητος γιά τήν φώνηση, γίνεται μέσω τῶν μυῶν τῆς ἀναπνοῆς ἐπειδὴ ἡ ὑπογλωττιδική πίεση ἐλέγχει τήν ἔνταση καί, ὡς ἓνα σημεῖο, καί τήν συχνότητα φώνησης.

2.4.3 Εἶδη φώνησης

Υπάρχουν διάφορα εἶδη φώνησης, ἀνάλογα μέ τόν βαθμό προσαγωγῆς τῶν λαρυγγικῶν μυῶν. Ὅσο ἡ προσαγωγή αὐξάνεται, τόσο ἡ γλωττιδική ἀντίσταση αὐξάνεται, καθορίζοντας διαφόρους τύπους φώνησης ὅπως: κανονική, βεβιασμένη, φώνηση ροῆς καί ἀναπνοειδῆ φώνηση (*normal, pressed, flow, breathy phonation*).

Ὁ τρόπος ταλάντωσης τῶν φωνητικῶν χορδῶν σχετίζεται μέ τό γλωττιδογράμμα, ὅπου, τό πλάτος τοῦ γλωττιδογράμματος ροῆς εἶναι μικρό γιά τήν περίπτωση συνδυασμοῦ ὑψηλῆς ὑπογλωττιδικῆς πίεσης καί μεγάλης δύναμης προσαγωγῆς τοῦ λάρυγγα, ἐνῶ αὐξάνεται καθὼς ἐλλαττῶνεται ἡ ὑπογλωττιδική πίεση καί μαζί καί οἱ δυνάμεις προσαγωγῆς. Σ' αὐτήν τήν τελευταία περίπτωση προφανῶς ἐνισχύεται τό πλάτος τῆς θεμελιώδους ἀρμονικῆς. Ἡ πρώτη περίπτωση εἶναι τό εἶδος τῆς βεβιασμένης φώνησης (*pressed*) καί ἡ δεύτερη τό εἶδος τῆς φώνησης ροῆς (*flow*), ἐνῶ ἂν οἱ δυνάμεις προσαγωγῆς δέν πλησιάζουν ἀρκετά τίς φωνητικές χορδές, δέν κλείνει ἐντελῶς ἡ γλωττίδα καί τότε ἔχουμε τό εἶδος τῆς ἀναπνοειδοῦς φώνησης (*breathy*). Ἀπό τήν βεβιασμένη μέχρι τήν ἀναπνοειδῆ φώνηση διαμορφώνεται μιά κλίμακα φωνήσεων, ἐπειδὴ ἐννοεῖται ὅτι μποροῦν νά υπάρχουν καί οἱ ἐνδιάμεσες περιπτώσεις (Sundberg, J. 1987).

Ὅταν ἡ συχνότητα φώνησης εἶναι χαμηλή, τό γλωττιδικό κλείσιμο ἀρχίζει ἀπό τό χαμηλότερο τμήμα τῶν φωνητικῶν χορδῶν καί μετατοπίζεται σιγά - σιγά πρὸς τά πάνω, δημιουργῶντας κύματα στήν ἀνώτερη ἐπιφάνειά τους, τά ὁποῖα ταξιδεύουν ἀντίθετα ἀπό τίς πλευρές τοῦ θυρεοειδοῦς χόνδρου. Οἱ φωνητικές χορδές εἶναι κοντές, παχεῖς καί χαλαρές, ἐνῶ ὅταν ἡ συχνότητα φώνησης εἶναι χαμηλή δέν παρατηρεῖται κανένα γλωττιδικό κύμα καί φαίνονται νά κλείνουν ταυτόχρονα καθ' ὅλο τό βάθος τῆς γλωττιδικῆς σχισμῆς οἱ, τώρα πιά, λεπτές μακρές καί τεταμένες φωνητικές χορδές. Ὅλοι οἱ τύποι φώνησης μπορεῖ νά παρατηρηθοῦν.

Στόν τύπο τῆς ἀναπνοειδοῦς (*breathy*) φώνησης ἡ γλωττίδα παίρνει τό σχῆμα τοῦ γράμματος Υ, ἔτσι ὥστε νά παραμένει κατά τήν ἡμικλειστή φάση ἓνα τριγωνικό ἄνοιγμα στήν γλωττίδα. Αὐτός ὁ τύπος συμβαίνει ἐπειδὴ δέν συστελλονται οἱ ἀρυταινοειδεῖς μῦες. Ἐπίσης ἓνας ἄλλος τύπος φώνησης εἶναι ὅταν ἀποτυγχάνουν οἱ φωνητικές χορδές νά ἔλθουν σέ ἐπαφή καθ' ὅλο τό μήκος τους, πού εἶναι ἓνας

διαφορετικός τύπος αναπνοειδούς φώνησης και είναι παρόμοιος με τον ελαφρό ψίθυρο (whispering).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Βασικοί μύες των φωνητικών χορδών - προσφύσεις και λειτουργία τους.

ΜΥΕΣ ΤΩΝ ΦΩΝΗΤΙΚΩΝ ΧΟΡΔΩΝ	ΠΡΟΣΦΥΣΕΙΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΑΠΑΓΩΓΟΙ ΜΥΕΣ Οπίσθιος κρικοαρυτανοειδής	Πίσω επιφάνεια κρικοειδούς --- Πίσω επιφάνεια της μυϊκής εξέλιξης του αρυτανοειδούς	Ωθεί το μυϊκό τμήμα κάθε αρυτανοειδούς χόνδρου διαγώνια προς τα κάτω και προς την μεσαία γραμμή στρέφοντάς τους πάνω στους κρικοαρυτανοειδείς συνδέσμους με αποτέλεσμα τα φωνητικά τμήματα των αρυτανοειδών να απομακρύνονται μεταξύ τους και να έχουν ελαφρά προς τα πάνω.
ΠΡΟΣΑΓΩΓΟΙ ΜΥΕΣ		
Πλευρικός κρικοαρυτανοειδής	Ανώτερο όριο κρικοειδούς --- Εμπρόσθια επιφάνεια της μυϊκής εξέλιξης του αρυτανοειδούς	Στρέφει τους αρυτανοειδείς προσάγοντας τα φωνητικά τμήματα τους
Εγκάρσιος αρυαρυτανοειδής	Πίσω επιφάνεια του ενός αρυτανοειδούς --- Πίσω επιφάνεια του άλλου αρυτανοειδούς	Πλησιάζει τους δύο αρυτανοειδείς μεταξύ τους
Πλάγιος αρυαρυτανοειδής	Κατώτερη πίσω επιφάνεια του αρυτανοειδούς --- Κορυφή του άλλου αρυτανοειδούς	Πλησιάζει τους δύο αρυτανοειδείς φέρνοντας κοντά τις κορυφές τους
ΤΕΙΝΟΝΤΕΣ ΜΥΕΣ		
Φωνητικός ή θυρεοφωνητικός	Εσωτερική επιφάνεια της γωνίας του θυρεοειδούς --- Φωνητική εξέλιξη αρυτανοειδούς	Ελέγχει την δύναμη τάσης και το μήκος των φωνητικών χορδών
Κρικοθυρεοειδής	Εμπρόσθια και πλευρική επιφάνεια κρικοειδούς --- Μέσα πλευρά κατωτάτου ορίου θυρεοειδούς	Προσεγγίζει τα μπροστινά μέρη θυρεοειδούς και κρικοειδούς, και γέρνει το πίσω μέρος του κρικοειδούς πηγαίνοντας προς τα πίσω τους αρυτανοειδείς. Έπομένως τεντώνει και μακραίνει τις φωνητικές χορδές
ΜΥΕΣ ΧΑΛΑΡΩΣΗΣ		
Εξωτερικός θυρεοαρυτανοειδής	Εσωτερική επιφάνεια της γωνίας του θυρεοειδούς --- Εμπρόσθια πλευρική επιφάνεια αρυτανοειδούς	Φέρνει προς τα εμπρός τους αρυτανοειδείς βραχύνοντας και χαλαρώνοντας τις φωνητικές χορδές

Όταν η γλωττίδα είναι κλειστή ή ροή αέρος δεν είναι σχεδόν ποτέ μηδενική. Έτσι παρατηρείται η γλωττιδική διαρροή ή όποια παίρνει διάφορες τιμές με ανάλογο τύπο φώνησης για κάθε τιμή διαρροής. Από την πεπιεσμένη φώνηση μέχρι

τόν ψίθυρο ή γλωττιδική διαρροή αυξάνεται σταδιακά μέχρι, σχεδόν, την χωρίς έμ-
πόδια ροή του άέρα από τούς πνεύμονες προς την στοματική και ρινική κοιλότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

Είδη φώνησης και παράμετροί τους (54)

Είδος φώνησης- Παράμετροι	Δύναμη προσαγωγής	Πλάτος γλωττιδο- γράμματος	Φάση προσέγγισης	Υπογλωττι- δική πίεση	Στάθμη ήχου	Γλωττιδική περιοχή
<i>Pressed</i>	ΥΨΗΛΗ	ΜΙΚΡΟ	ΜΑΚΡΑ	ΜΕΓΑΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΣΤΕΝΗ
<i>Normal</i>	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΤΡΙΟ	ΣΥΝΤΟΜΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Flow</i>	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΟ	ΜΑΚΡΑ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΕΥΡΕΙΑ
<i>Breathy</i>	ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΟ & ΔΙΑΡΡΟΗ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ	ΜΙΚΡΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΕΥΡΥΤΕΡΗ
<i>Whispering</i>	ΠΕΡΙΣ. ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ & ΜΕΓ.ΔΙΑΡΡΟΗ	ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ	ΜΙΚΡΗ	ΧΑΜΗΛΟΤΕ ΡΗ	ΕΥΡΥΤΑΤΗ

2.4.4 Γλωττιδογράμμα και πηγαία φωνή

Όπως ήδη αναφέραμε, τό γλωττιδογράμμα ροής εκφράζει την ροή του άέρα διά μέσου της γλωττίδος και αποτελείται από διαδοχικούς παλμούς ροής άέρος, όπου για κάθε ένα παλμό ή ροή αυξάνει καθώς βαθμιαία ανοίγει ή γλωττίδα (φάση ά-
νοιγματος), φθάνοντας σε μία μέγιστη τιμή, και στην συνέχεια αρχίζει να ελατ-
τώνεται μέχρι να κλείσει ή γλωττίδα, όποτε αρχίζει ή φάση προσέγγισης (σχ. 2.12).

Τό πλάτος των παλμών του γλωττιδογράμματος εξαρτάται από τό μέγεθος του γλωττιδικού άνοιγματος όπου ένα μικρό άνοιγμα δίνει μικρό πλάτος παλμών και ά-
ντίστροφα ένα μεγάλο γλωττιδικό άνοιγμα (βλ. πίνακα 2.2). Έξαρτάται ακόμη και ά-
πό τό μέγεθος της γλωττίδος, τό όποιο προφανώς εξαρτάται από τό μέγεθος των
φωνητικών χορδών. Λογικά μία μεγαλύτερη γλωττίδα θά δώσει μεγαλύτερους
παλμούς άέρος και έτσι δέν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ διαφορετικών φωνών
γλωττιδογράμματα.

Ανάλογα με τον βαθμό της γλωττιδικής διαρροής αλλάζει και ή μορφή του γλωτ-
τιδογράμματος στο ενδιαμέσο τμήμα μεταξύ δύο γειτονικών παλμών με ανάλογη
άπόσταση από τον όριζόντιο άξονα. Συνεπώς, τό γλωττιδογράμμα ροής ενός
τραγουδιστή φανερώνει τό είδος της φώνησής του.

Συχνά ό ρυθμός ροής στο άνοιγμα της γλωττίδος είναι πιο μικρός από εκείνον
κατά τό κλείσιμό της, πράγμα που σημαίνει ότι ή χρονική διάρκεια του προσέγγισης
είναι πιο μικρή από εκείνη του άνοιγματος, με άμεση συνέπεια να είναι πιο άπό-
τομη ή καμπύλη στο δεξιό μέρος του παλμού. Η εξήγηση έχει δοθεί σ' αυτό προ-
ηγουμένως και είναι ότι κατά τό άνοιγμα της γλωττίδος ή ροή του άέρα ανοίγει την
γλωττίδα ενώ κατά την φάση προσέγγισης τόσο ή άπότομη ελλάττωση της ροής του
άέρα όσο και ή ελαστικότητα των φωνητικών χορδών επαναφέρουν την γλωττίδα
στην αρχική της κατάσταση.

Η μελέτη των γλωττιδογραμμάτων μπορεί να μάς δώσει διαφορές μεταξύ δια-
φορετικών άτόμων που τραγουδούν είτε είναι επαγγελματίες τραγουδιστάι είτε όχι.
Έτσι, ή μελέτη των γλωττιδογραμμάτων ροής ενός μή τραγουδιστή έδειξε ότι ό
ρυθμός προσέγγισης αυξανόταν με την συχνότητα φώνησης, ενώ εμφανιζόταν
γλωττιδική διαρροή για χαμηλότερες συχνότητες της συνηθισμένης όμιλίας. Τά ίδια
συνέβαιναν με την αλλαγή της υπογλωττιδικής πίεσης: με αύξηση, αυξανόταν ό
ρυθμός προσέγγισης, με μείωση παρουσιάζονταν γλωττιδική διαρροή. Με σταθερή

τήν υπογλωττιδική πίεση, ή αύξηση τῆς δύναμης προσαγωγῆς μεγάλωνε τόν ρυθμό προσέγγισης καί ελάττωνε τήν διαρροή (Sundberg & Gauffin, 1979).

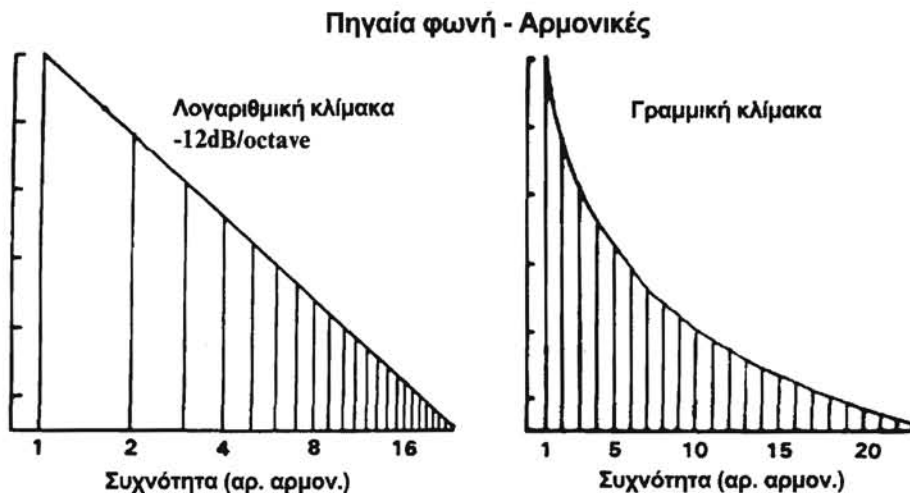
Ἡ ἡχητική πίεση, τήν ὁποία πραγματικά περιγράφει ἡ κυματομορφή τοῦ ἤχου, μπορεῖ νά προκύψει ἀπό τό γλωττιδόγραμμα, κάνοντας μιά ἀπλῆ διόρθωση, δηλαδή, φιλτράροντας τό σῆμα μέ τό ὑψηλῆς διέλευσης φίλτρο μέ χαρακτηριστική +6 dB ἀνά ὀκτάβα ἂν θεωρήσουμε ὅτι ἡ ἐπίδραση τῶν χειλιῶν κατά τήν ἐκπομπή τοῦ ἤχου στό φάσμα τῆς φωνῆς ἑνός τραγουδιστῆ προκαλεῖ ἀπλῆ διαφόρισή του (Rabiner & Schafer, 1978).

Μεταξύ τῶν εἰδῶν φώνησης ἔχουμε συνοπτικά τόν πίνακα 2.2, στόν ὁποῖο σημειώνονται οἱ ἐπιδράσεις τους στίς παραμέτρους τῆς πηγαίας φωνῆς.

Ὁ ρυθμός προσέγγισης (*closing rate*), καθορίζει σημαντικά τήν στάθμη ἤχου, ἡ ὁποία, ὡς γνωστόν καθορίζεται ἀπό τό πλάτος τῆς ἰσχυρότερης ἁρμονικῆς ἐξ ὁλοκλήρου. Καθώς δέ ὁ ρυθμός προσέγγισης αὐξάνει, αὐξάνεται ἡ ἐπικράτηση τῶν ὑψηλότερων ἁρμονικῶν τοῦ φάσματος ἐναντι τῶν χαμηλότερης τάξης μερικῶν (*partials*).

2.4.5 Φασματικό περιεχόμενο τῆς πηγαίας φωνῆς

Τό φασματικό περιεχόμενο τῆς πηγαίας φωνῆς ἀναφέρεται στήν κατά Fourier ἀνάλυση τῆς φωνῆς, θεωρῶντας δηλαδή τήν φωνή σάν ἓνα ἄθροισμα ἁρμονικῶν συνιστωσῶν. Κάθε ἁρμονική συνιστῶσα ἀποτελεῖ ἓναν ἰδιαίτερο τρόπο ταλάντωσης τῶν φωνητικῶν χορδῶν, ὅπως σέ μιά χορδή μουσικοῦ ὀργάνου ἀλλά μέ τήν οὐσιαστική διαφορά τῆς πολύπλοκης ταλάντωσης γιά τίς φωνητικές χορδές. Τά φασματικά χαρακτηριστικά τῆς πηγαίας φωνῆς περιγράφονται βάσει τῶν πλατῶν τῶν ἁρμονικῶν τῆς στό φάσμα (σχ. 2.13).



Σχῆμα 2.13. Ἰδανικό φάσμα τῆς πηγαίας φωνῆς, σέ λογαριθμική καί γραμμική κλίμακα, ὅπου στόν κατακόρυφο ἄξονα εἶναι τό σχετικό πλάτος κάθε ἁρμονικῆς καί στόν ὀριζόντιο ἄξονα ἀκέραιος πού δείχνει τήν τάξη κάθε ἁρμονικῆς. Στήν λογαριθμική κλίμακα παρατηρεῖται σταθερός ρυθμός μείωσης τοῦ πλάτους τῶν ἁρμονικῶν (μερικές - *partials*) κατά 12dB ἀνά octave, γιά τήν κανονική φωνητική ποιότητα (54).

Άμεση σχέση φάσματος καί μορφής του γλωττιδογράμματος φαίνεται να υπάρχει, αφού όσο οξύτερες είναι οι ασυνέχειες στο γλωττιδόγραμμα, τόσο ισχυρότερες είναι οι υψηλής συχνότητας αρμονικές στο φάσμα. Βρέθηκε επίσης ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος ροής αέρος στο γλωττιδόγραμμα τόσο μεγαλύτερη είναι η θεμελιώδης του φάσματος της πηγαίας φωνής. Καθώς δέ ο ρυθμός προσέγγισης αυξάνει, αυξάνεται η επικράτηση των υψηλότερων αρμονικών του φάσματος έναντι των χαμηλότερης τάξης μερικών (partials) με αποτέλεσμα να γίνεται πιο «οξύς» ο φωνητικός ήχος.

Έχει βρεθεί θεωρητικά ότι οι ήχητικές στάθμες των αρμονικών ελαττώνονται με ρυθμό -12 dB ανά οκτάβα (στήν συνηθισμένη ομιλία), κατά μέσο όρο, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε αρμονική είναι κατά 12 dB ασθενέστερη από την προηγούμενη της στο φάσμα. Στήν πράξη, βέβαια έχουμε ουσιαστικές αποκλίσεις απ' αυτή την περιγραφή, όπως ήδη σημειώθηκε.

Η μελέτη των γλωττιδογραμμάτων ροής μπορεί να μας οδηγήσει σε συμπεράσματα για την πηγαία φωνή, ως προς την συμπεριφορά των φωνητικών χορδών. Για παράδειγμα, σε όλους τους αναπνοειδείς τύπους φωνήσεων, επειδή περνάει αέρας μέσα από τις φωνητικές χορδές δημιουργείται στροβιλισμός, με αποτέλεσμα την δημιουργία θορύβου στο φάσμα του παραγόμενου ήχου, αλλά και η κλίση του φάσματος γίνεται πολύ μεγάλη: περίπου -18dB/octave. Όταν ο ήχος γίνεται «οξύς» η κλίση του φάσματος γίνεται -6dB/octave (Titze, 1994). Μέρος των φωνητικών ήχοχρωματικών διαφορών μεταξύ ανδρών και γυναικών φαίνεται να οφείλονται στην πηγαία φωνή, με κυριότερη διαφορά στο πλάτος της θεμελιώδους, όπου του άνδρος είναι ασθενέστερη (Agren & Sundberg, 1978).

2.4.6 Άρθρωση καί χαρακτηριστικά

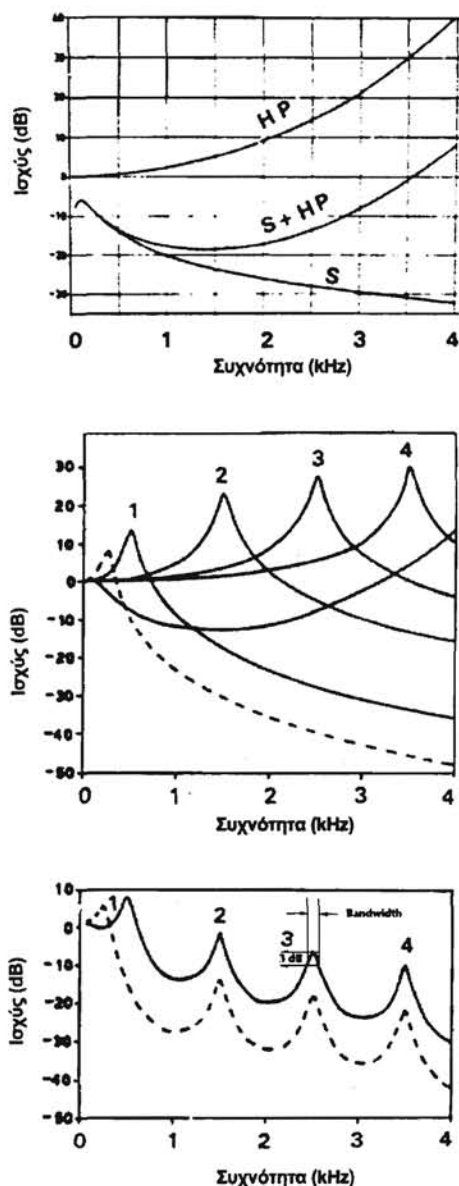
2.4.6.1 Τί είναι οι φωνοσυντονισμοί (formants);

Ο πρωταρχικός ήχος, ο οποίος λέγεται πηγαία φωνή (*voice source*), στη συνέχεια, μεταφέρεται μέσα από την φωνητική οδό (*vocal tract*), η οποία είναι ένας συντονιστής, πράγμα που σημαίνει ότι δέν ευνοεί με τον ίδιο τρόπο την διέλευση κάθε συχνότητας, δηλαδή λειτουργεί σαν φίλτρο. Υπάρχουν συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων που ευνοούνται, δηλαδή ενισχύονται, και οι οποίες λέγονται φωνοσυντονισμοί (*formants*).

Καθώς ο ήχος αναλύεται φασματικά βρίσκεται ότι αποτελείται, όπως ήδη αναφέρθηκε, από μία αρμονική σειρά συνιστωσών τόνων, που έχουν συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους συχνότητας. Απ' αυτές τις μερικές (*partials*), όπως λέγονται, εκείνες των οποίων οι συχνότητες είναι ίσες με τις συχνότητες των φωνοσυντονισμών ενισχύονται περισσότερο ενώ οι άλλες λιγότερο. Στο εξής θα χρησιμοποιούμε τον όρο φωνοσυντονιστικές συχνότητες αντί του όρου συχνότητες των φωνοσυντονισμών.

Ο τρόπος που οι φωνοσυντονιστικές συχνότητες καθορίζουν την συνάρτηση μεταφοράς, περιγράφεται από την θεωρία μεταφοράς ήχου στον ταλαντωτή της φωνητικής οδού (Fant, G. 1960), και εξηγείται στα σχήματα (βλ. σχήμα 2.14). Σύμφωνα με τα γραφήματα, η καμπύλη S παριστάνει τον φάκελο του φάσματος της πηγαίας φωνής και έχει την γνωστή κλίση (-12dB/octave). Η καμπύλη HP είναι μία διόρθωση που σημαίνει την επίδραση των συχνοτήτων συντονισμού, πάνω από

4000Hz, τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ στό φάσμα τῆς πηγαίας φωνῆς. Οἱ καμπύλες S καί HP ἀφοροῦν παράγοντες πού δέν ἐπιρρεάζονται ἀπό φωνήεντα, ἐνῶ ἡ HP ἐξαρτᾶται ἀπ' τήν χαρακτηριστική ἐκπομπῆς ἡχου τοῦ ἀνοίγματος τῶν χειλέων (ἡ στρογγυλοποίηση τῶν χειλῶν χαμηλώνει ὅλους τοὺς φωνοσυντονισμούς τοῦ φάσματος), καί ἀπό τοὺς ὑψηλότερους φωνοσυντονισμούς (μετά τόν 4ο φωνοσυντονισμό). Κάθε φωνοσυντονισμός συνεισφέρει, μέ τήν δική του συνάρτηση μεταφορᾶς, στήν ὀλική συνάρτηση μεταφορᾶς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ μαζί μέ τήν πηγαία φωνή, καί ἔτσι προκύπτει ἡ τελευταία καμπύλη, ἡ ὁποία εἶναι καί ὁ φάκελος τοῦ φάσματος τῆς φωνῆς πού ἐκπέμπεται στό περιβάλλον.



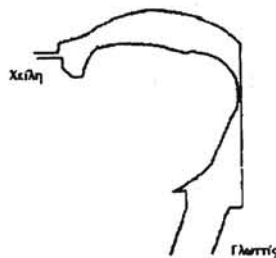
Σχῆμα 2.14. Σχηματική παράσταση τῶν συνιστωσῶν τῆς φασματικῆς περιβάλλουσας (envelope) τοῦ φωνητικοῦ ἡχου (κάτω σχῆμα). Ἡ φασματική περιβάλλουσα τῆς πηγαίας φωνῆς διορθωμένη κατά 6dB/octave, S καί ἡ φασματική περιβάλλουσα τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν, HP, προστίθενται γιά νά δώσουν τήν καμπύλη S+HP (ἄνω σχῆμα). Οἱ 4 πρῶτοι φωνοσυντονισμοί τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ (Μεσαῖο σχῆμα) (Fant, 1960).

Κάθε φωνοσυντονισμός χαρακτηρίζεται από : α) την συχνότητά του (*formant frequency*), β) την στάθμη ισχύος του (*formant level*), και γ) τό εύρος ζώνης του (*bandwidth*). Τό τελευταίο ορίζεται σάν την περιοχή συχνοτήτων γύρω από την συχνότητα τοῦ φωνοσυντονισμού πού τά ὀριά της προσδιορίζονται ἀπό τό μισό τῆς ισχύος τῆς κεντρικῆς συχνότητας τοῦ φωνοσυντονισμού. Παρατηροῦμε στό σχῆμα 2.14 ὅτι οἱ φωνοσυντονιστικές συχνότητες τοποθετοῦνται στά 500, 1500, 2500 καί 3500Hz, ἐνῶ μπορεῖ νά ἐμφανισθεῖ ὁ 1ος φωνοσυντονισμός στά 250Hz καί οἱ ὑπόλοιποι μένουν ὡς ἔχουν.

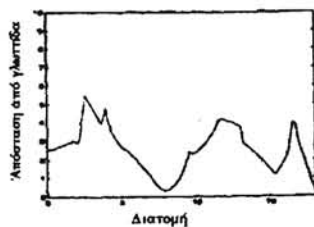
Οἱ ἀνωτέρω συχνότητες τῶν φωνοσυντονισμῶν, δέν εἶναι σταθερές ἀλλά κυμαίνονται γιά τούς ἄνδρες, γιά τόν 1ο φωνοσυντονισμό, περίπου, μεταξύ 250 καί 1000Hz, γιά τόν 2ο, ἀνάμεσα 600 καί 2500Hz, γιά τό 3ο, μεταξύ 1700 καί 3500Hz, ἐνῶ γιά τόν 4ο καί 5ο φωνοσυντονισμό, οἱ συχνότητες εἶναι λιγότερο μεταβλητές.

2.4.6.2 Ἡ συνάρτηση ἐπιφάνειας (Area function)

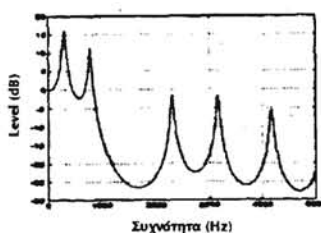
Φωνητική ὁδός (Vocal tract)



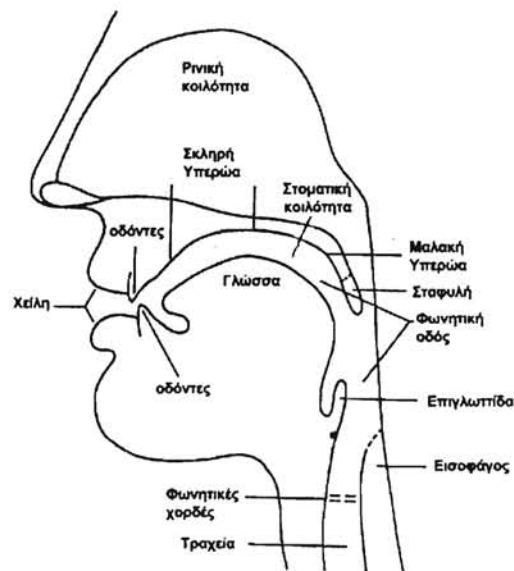
Συνάρτηση ἐπιφάνειας (Area function)



Μέγεθος τῆς συναρτήσεως μεταφοράς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ



(α)



(β)

Σχῆμα 2.15. α) Γιά τήν συγκεκριμένη προβολή τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ (*profile*) (ἄνω σχῆμα) ἡ συνάρτηση ἐπιφάνειας παριστᾷ τό ἐμβαδό τῆς διατομῆς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ συναρτῆσει τῆς ἀπόστασης ἀπό τήν γλωττίδα (μεσαῖο σχῆμα) καί ἡ ἀντίστοιχη φασματική περιβάλλουσα ἐπιρρεάζεται. β) Τό συνολικό περίγραμμα τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ μέ τούς ἀρθρωτές (*articulators*) πού τήν ἐπιρρεάζουν (9).

Ἡ ἄρθρωση (articulation) ὀρίζεται, πρὶο συγκεκριμένα, ὡς ἡ συνολικὴ διαμόρφωση τοῦ σχήματος τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ τοῦ φωνητικοῦ ὄργάνου κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐκφώνησης (Σχ. 2.15β). Αὐτὸ δὲ τὸ σχῆμα περιγράφεται, χονδρικῶς, μὲ τὴν συνάρτηση ἐπιφάνειας, ἡ ὁποία ἔχει ἤδη ὀρισθῇ, καὶ ἡ ὁποία παριστάνει ἀνά μονάδα μήκους τοῦ κατὰ μήκος ἄξονα τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ, τὸ ἐμβαδὸν τῆς ἐγκάρσιας διατομῆς του (Σχ. 2.15α).

Ἡ συνάρτηση μεταφορᾶς ἤχου τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἄρθρωση, καὶ ἐπομένως ἀπὸ τὴν συνάρτηση ἐπιφάνειας ἐπειδὴ αὐτὴ καθορίζει τίς περιοχὲς συντονισμοῦ τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ, δηλαδὴ τίς φωνοσυντονιστικὲς συχνότητες. Ἡ συνάρτηση ἐπιφάνειας μεταβάλλεται μὲ τὴν ἄρθρωση ἀλλὰ δὲν ὑπάρχει ἀπόλυτη ἀντιστοιχία μεταξύ τους ἐπειδὴ κάθε διατομὴ τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ μπορεῖ νὰ ἔχει ἓνα ἐμβαδὸ ἀλλὰ πολλὰ διαφορετικὰ σχήματα. Ἔτσι, περιγράφονται μόνο χονδρικά οἱ διάφοροι συντονισμοὶ τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ στὴν διεγερση τῆς πηγαίας φωνῆς. Πρόσφατες ἐρευνες ἔχουν δείξει τὴν ἐπίδραση τοῦ τρισδιαστάτου πραγματικοῦ σχήματος τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ στὴν ὑψηλότερη περιοχὴ τοῦ φάσματος (πάνω ἀπὸ τὰ 5 kHz) (Motoki, K., et al, 1992).

2.4.6.3 Παράγοντες πού ἐπιδροῦν στοὺς φωνοσυντονισμούς

Ὅσο μεγαλύτερο εἶναι τὸ μήκος τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ, τόσο χαμηλότερες εἶναι οἱ φωνοσυντονιστικὲς συχνότητες, κάτι πού μπορεῖ νὰ γίνη, γιὰ παράδειγμα, ἂν προταθοῦν τὰ χεῖλη ὅπως στὸ φωνῆεν /u/ .

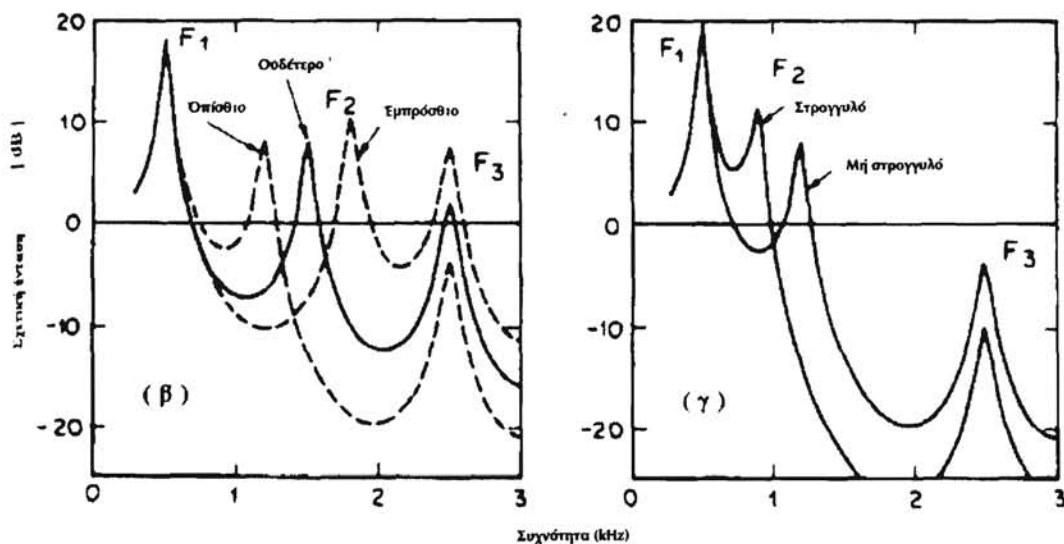
Ἡ ἐπίδραση τῆς συνάρτησης ἐπιφάνειας εἶναι πρὶο περίπλοκη, ἐπειδὴ ἡ ἴδια ἀλλαγὴ σ' αὐτὴν δὲν ἐπηρεάζει τὸ ἴδιο τίς φωνοσυντονιστικὲς συχνότητες. Μποροῦμε ὅμως νὰ περιγράψουμε τὴν ἐπίδραση συγκεκριμένων μεταβολῶν στὰ ἐργαλεῖα πού ἀλλάζουν τὴν συνάρτηση ἐπιφάνειας, κι αὐτὰ εἶναι: τὰ χεῖλη, τὸ ἀνοιγμα τῆς κάτω σιαγόνας, ἡ γλῶσσα, ἡ μαλακὴ ὑπερώα, καὶ ὁ λάρυγξ.

Αὐτὰ τὰ ἐργαλεῖα ἐπηρεάζουν τίς φωνοσυντονιστικὲς συχνότητες ὡς ἐξῆς:

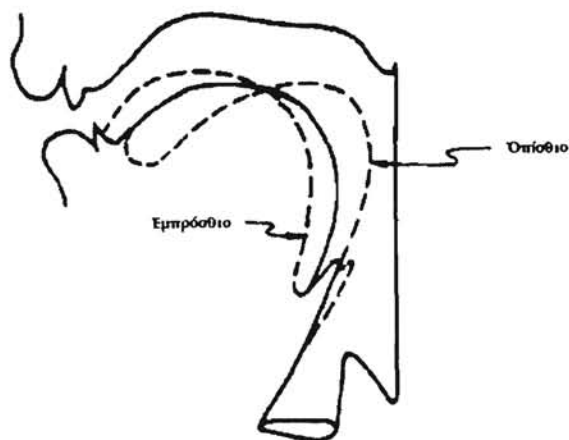
1. Ἡ στένωση τοῦ ἀνοιγματος τῶν χειλῶν καὶ ἡ ἐπιμήκυνση τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ χαμηλώνουν τίς συχνότητες σχεδὸν ὅλων τῶν φωνοσυντονισμῶν.
2. Ἡ κάθοδος τῆς κάτω σιαγόνας αὐξάνει τὴν πρώτη φωνοσυντονιστικὴ συχνότητα,
3. Ἡ συσσωμάτωση τῆς γλῶσσας, πού γίνεται ἔτσι ὥστε νὰ πλησιάσει τὸν οὐρανίσκο, ἀνυψώνει τὴν δεύτερη συχνότητα ἂν γίνη ἐμπρός (σχ. 2.16) ἐνῶ τὴν χαμηλώνει ἂν γίνη πίσω πρὸς τὴν μαλακὴ ὑπερώα,
4. Ἡ θέση τοῦ ἄκρου τῆς γλῶσσας ἢ τὸ μέγεθος τῆς κοιλότητος πού σχηματίζει πίσω ἀκριβῶς ἀπὸ τοὺς κοπτήρες τῶν δοντιῶν, τὸ ὁποῖο ἐπηρεάζει ἀντίστροφα τὴν τρίτη φωνοσυντονιστικὴ συχνότητα, καὶ
5. Τὸ σχῆμα τοῦ λαρυγγικοῦ σωλῆνα, ἀπὸ τὸ ὁποῖο ἐξαρτᾶται ἰσχυρὰ ὁ 4ος φωνοσυντονισμός.
6. Ἡ θέση τοῦ λάρυγγα ἀνυψώνει ἢ χαμηλώνει ὅλους τοὺς φωνοσυντονισμούς ἂν ἀνυψωθεῖ ἢ χαμηλώσει ἀντίστοιχα.

Ακόμη, ή μετακίνηση τών φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων ἐπιρρεάζει τήν ισχύ τών ἀντιστοιχῶν φωνοσυντονισμῶν, καθώς αὐτοί πλησιάζουν ἤ ἀπομακρύνονται μεταξύ τους. Ἐτσι ἂν ὑποδιπλασιασθεῖ ἡ ἀπόστασή τους, ἡ συνάρτηση μεταφοράς στίς ἀντίστοιχες περιοχές θά ἀνυψωθεῖ κατὰ 6dB περίπου, καί κατὰ 12dB στό ἐνδιάμεσό τους, χωρίς νά μεταβληθεῖ ἡ ὅλική ἡχητική ἐνέργεια πού παράγει τό φωνητικό ὄργανο (Sundberg, 1974).

Στήν συνηθισμένη ὁμιλία, ἡ ἀνύψωση τοῦ λάρυγγα σχετίζεται μέ τήν αὐξηση τῆς συχνότητος φώνησης. Τό φαινόμενο εἶναι τόσο χαρακτηριστικό, ὥστε γιά νά μετρηθεῖ ἡ θεμελιώδης συχότητα βρίσκεται πρῶτα ἡ ἀνύψωση τοῦ λάρυγγος καί ἀπ' αὐτήν ἀναλογικά προκύπτει ἡ θεμελιώδης (Shipp & Izdebski, 1975). Τό τελείως ἀντί-



(α)



(β)

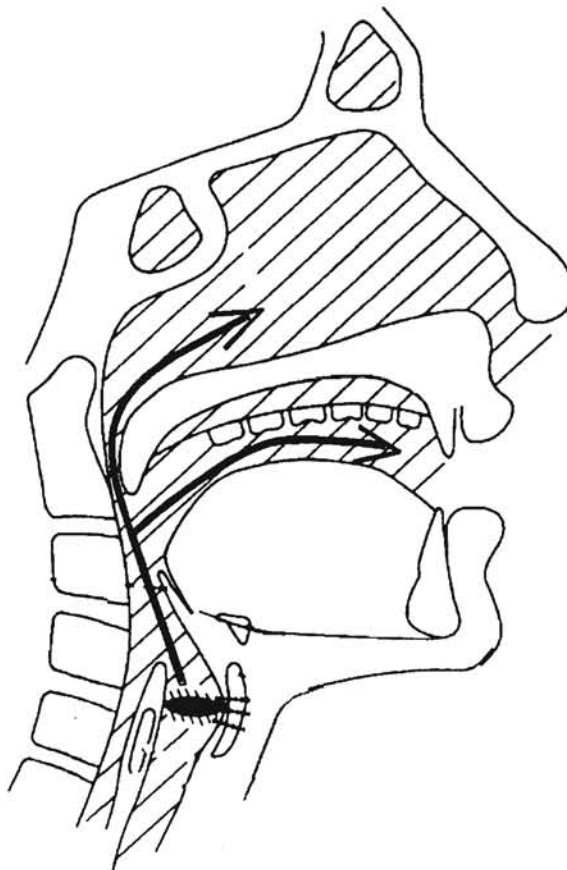
Σχῆμα 2.16.α) Ἰδανικές φασματικές περιβάλλουσες πού ἀντιστοιχοῦν σέ ἐμπρόςθιες καί ὀπίσθιες θέσεις τῆς γλώσσας μέσα στό στόμα (ἀριστερά) καί ἡ μέση ἐπίδραση τῆς στρογγυλοποίησης τῶν χειλιῶν γιά ὀπίσθιο φωνῆεν (δεξιά) (66).

β) Σχηματική παράσταση τῆς διατομῆς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ γιά τίς ἀντίστοιχες διάφορες θέσεις τῆς γλώσσας στά σχήματα (α).

το συμβαίνει στήν ὄπερα: ἐδῶ οἱ λυρικοί τραγουδιστές, προφανῶς λόγω συστηματικῆς ἐξάσκησης, ἔχουν τήν τάση νά καταβιβάζουν τόν λάρυγγα καθώς αὐ-

ξάνει ή συχνότητα φώνησης, δηλαδή, ή κατακόρυφη θέση τοῦ λάρυγγα - τό ὕψος του, ποικίλει τόσο στήν καθημερινή ὁμιλία ὅσο καί στό τραγούδι. Συχνά μιά βεβιασμένη (pressed) φώνηση σχετίζεται μέ ὑψηλή θέση λάρυγγα καί ανεξάσκητες φωνές, ὅπως εἶδαμε, μέ ἄνοδο τῆς τονικότητας ἀνασπώνουν τόν λάρυγγα (Sundberg, 1987). Οἱ φωνοσυντονιστικές συχνότητες μικραίνουν ἀλλά ὄχι ἀνάλογα. Γιά παράδειγμα ὁ 4ος φωνοσυντονισμός χαμηλώνει κατά 17% ἐνῶ ὁ 3ος κατά 11%, κατά μέσο ὄρο, γιά ὅλα τά φωνήεντα, μέ τήν κάθοδο τοῦ λάρυγγα.

Οἱ δύο πρῶτοι φωνοσυντονισμοί καθορίζουν τήν φωνητική ποιότητα τῶν φωνηέντων καί οἱ διάφορες θέσεις τῶν συχνοτήτων τους τά διακρίνουν μεταξύ τους (Peterson & Barney, 1952, Miller, R., 1993). Ἐκεῖνοι οἱ φωνοσυντονισμοί πού χαρακτηρίζουν, γιά τό ἴδιο φωνήεν, τό ἡχόχρωμα τῆς φωνῆς εἶναι ὁ τρίτος καί κυρίως οἱ ὑψηλότερης τάξης (Sundberg 1987).



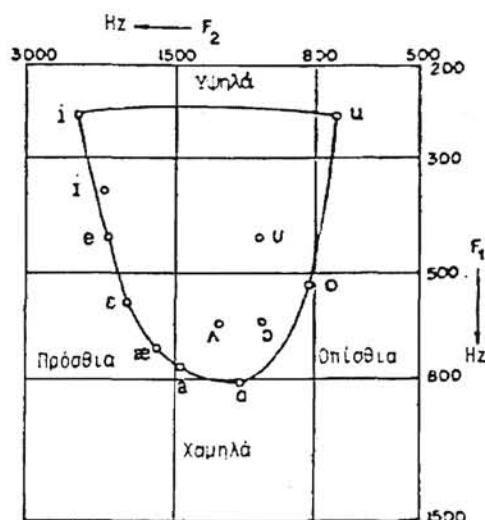
Σχῆμα 2.17. Ἡ ἀντήχηση ἢ ἡ τοποθέτηση τῆς φωνῆς «στήν μάσκα» ἴσως σημαίνει τήν δι-ασύνδεση τῆς ρινικῆς κοιλότητας στήν φωνητική ὁδό ἔτσι ὥστε νά διχάζεται ὁ φωνητι-κός σωλήνας (Colton & Estill, 1981). Μερικοί δάσκαλοι τοῦ τραγουδιοῦ ἀναφέρονται στόν φωνοσυντονισμό τοῦ τραγουδιστῆ μέ τόν ὄρο «κεφαλική ἀντήχηση ἢ ἀντήχηση στήν μάσκα» (Gibian, 1972).

2.4.6.4 Η «τοποθεσία» τῶν φωνηέντων

Ἡ περιγραφή τῶν φωνηέντων ἀκολούθησε δύο δρόμους : μέ ἀκουστικές παραμέτρους καί μέ ἀρθρωτικά χαρακτηριστικά. Καμμία περιγραφή ἀπό μόνη της δέν εἶναι πλήρης ὅποτε συμπληρώνεται ἡ μία ἀπό τήν ἄλλη.

Μέ βάση τήν ἀρθρωτική περιγραφή τά δύο βασικότερα χαρακτηριστικά τῶν φωνηέντων εἶναι τό «ἄνοιγμά» τους καί ἡ «ὀπίσθιοτήτά» τους. Ὡς πρὸς τό πρῶτο, τά φωνήεντα χαρακτηρίζονται ἀνοικτά, ἡμιάνοικτα, ἡμίκλειστα, κλειστά, ὅπου τό ἄνοιγμα ἔχει προσδιοριστεῖ μέ βάση τό «ὕψος» τῆς γλώσσας ὡς πρὸς τήν ὑπερώα ἢ τήν βάση τῆς σιαγόνας (Ladefoged, 1975), χωρίς νά εἶναι ἀπόλυτα σωστό γιά ὅλες τίς γλώσσες. Ὡς πρὸς τό δεύτερο χαρακτηριστικό, τά φωνήεντα χαρακτηρίζονται ἐμπρόσθια, μεσαῖα ἢ κεντρικά, ὀπίσθια. Ἡ ὀπίσθιοτήτα σχετίζεται μέ τήν θέση τοῦ ὄγκου τῆς γλώσσας πρὸς τά πίσω ἢ πρὸς τά ἐμπρός μέσα στήν στοματική κοιλότητα.

Σύμφωνα μέ τήν περιγραφή τῶν φωνηέντων μέ ἀκουστικές παραμέτρους, οἱ συχνότητες τῶν δύο πρῶτων φωνοσυντονισμῶν καθορίζουν τήν «ταυτότητα» τῶν φωνηέντων, οἱ ὁποῖες σχεδιάζονται σ' ἓνα σχεσιόγραμμα (F_1 - F_2) ἢ πεδίο F_1 - F_2 ἢ φωνητικός χώρος, ὅπως λέγεται. Ἀνάλογα μέ τήν θέση τοῦ φωνήεντος στό πεδίο F_1 - F_2 τό φωνήεν ἔχει καί ἓνα ἰδιαίτερο σύμβολο. Ἐχει καθορισθεῖ καί χρησιμοποιεῖται ἀπό ὅλους τοὺς φωνητικούς ἓνα διεθνές φωνητικό ἀλφάβητο, International Phonetic Alphabet (IPA) γιά τήν ἐνιαία περιγραφή τῶν φωνηέντων σ' ὅλες τίς γλώσσες. Μέρος τῶν συμβόλων IPA παριστάνονται στό σχῆμα (2.18) γιά τήν ἐπιβεβαίωση τῶν συμβόλων τῶν φωνηέντων στήν ψαλμωδία πού χρησιμοποιοῦμε στά ἐπόμενα κεφάλαια.



Σχῆμα 2.18 Ὁρισμένα βασικά φωνήεντα στό πεδίο F_1 - F_2 καί ἡ μεταβολή τοῦ «ὕψους» καί τῆς «ὀπίσθιοτήτάς» τους σέ σχέση μέ τίς δύο πρῶτες φωνοσυντονιστικές τους συχνότητες (Ορφανός, 1987)

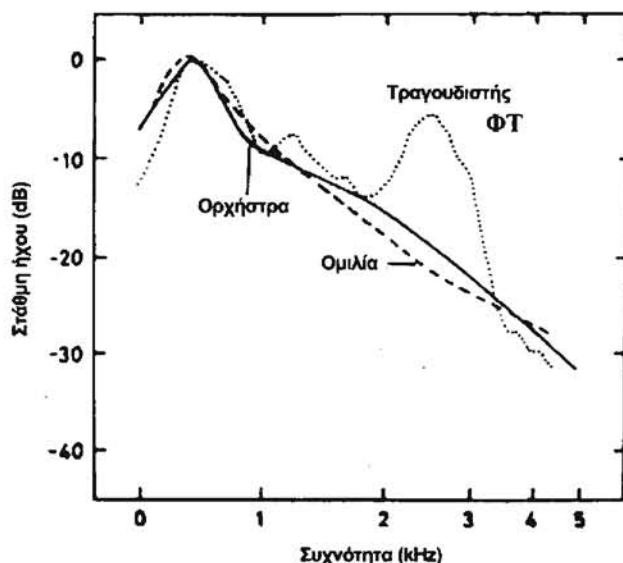
Τό ὕψος τῶν φωνηέντων σχετίζεται μέ τήν πρώτη φωνοσυντονιστική συχνότητα καί μεταβάλλεται ἀντιστρόφως ἀνάλογα μ' αὐτήν (σχ. 2.18). Ἡ ὀπίσθιοτήτα σχετίζεται μέ τόν δεύτερο φωνοσυντονισμό καί μεταβάλλεται ἀντιστρόφως ἀνάλογα

μ' αὐτήν, ἂν καί καλύτερη περιγραφή εἶναι ἡ διαφορά μεταξύ τῆς δεύτερης καί πρώτης φωνοσυντονιστικῆς συχνότητος (Ladefoged, 1975).

2.4.6.5 Ὁ φωνοσυντονισμός τοῦ τραγουδιστῆ (singer's formant (ΦΤ))

Βασικό χαρακτηριστικό τῆς ἀνδρικῆς τραγουδιστικῆς ὀπερατικῆς φωνῆς εἶναι ἡ παρουσία τοῦ φωνοσυντονισμοῦ τοῦ τραγουδιστῆ (*singer's formant*, ΦΤ), (Bartholomew, 1934) γιὰ τόν ὁποῖο κάποιοι δάσκαλοι τοῦ τραγουδιοῦ, ὅταν ἀκούγεται, μιλοῦν γιὰ «κεφαλικὴ ἀντήχηση ἢ τοποθέτηση στὴν μάσκα» (σχ. 2.17).

Ἡ κεντρικὴ συχνότητά του ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ pitch καί τὴν κατηγορία τῆς φωνῆς, ἐρμηνεύεται δέ ἀκουστικά σάν τὴν συγκέντρωση (clustering) τῶν 3ου, 4ου, καί 5ου φωνοσυντονισμῶν, σέ μία ἐνιαία κορυφή στό φάσμα, πού τῆς ἔχει δοθεῖ ὁ ὅρος καί ἡ ἐρμηνεία, ἀπὸ τόν Sundberg (1974).



Σχῆμα 2.19. Ἡ φωνή τοῦ ὀπερατικοῦ τραγουδιστῆ διακρίνεται ἀπὸ τὸν ἦχο τῆς ὀρχήστρας ἐξ αἰτίας τῆς παρουσίας τοῦ φωνοσυντονισμοῦ τοῦ τραγουδιστῆ στό φάσμα τῆς φωνῆς του καί ἄρα τῆς παρουσίας μιᾶς ἐνισχυμένης εὐρείας κορυφῆς ΦΤ γύρω ἀπὸ τὸν φωνοσυντονισμό τοῦ τραγουδιστῆ (54).

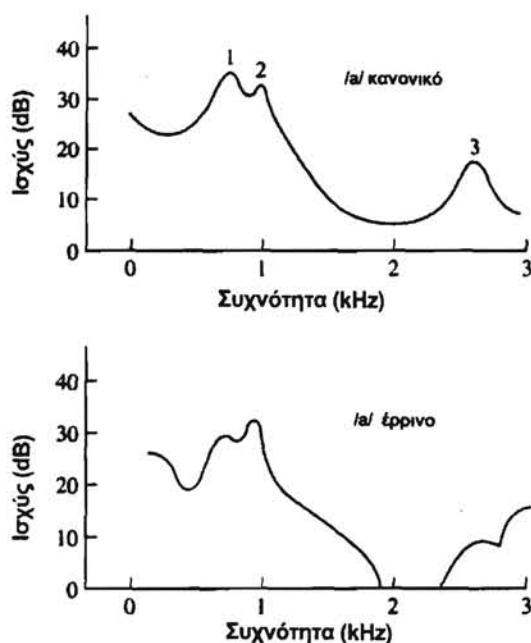
Τό μέτρο τῆς συνάρτησης μεταφορᾶς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ στὸν ΦΤ, ἐξαρτᾶται ἀπὸ τίς συχνότητες τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν, καί πιο συγκεκριμένα ἀπὸ τὴν διαφορά μεταξύ τους, ἀλλὰ ἀκόμη καί ἀπὸ τίς ἰσχύες τῶν ἀντιστοιχῶν ἁρμονικῶν τοῦ φάσματος τῆς πηγαιᾶς φωνῆς. Ὅπως ἤδη σημειώσαμε, μέ ὑψηλό ρυθμὸ προσέγγισης τῶν φωνητικῶν χορδῶν, αὐξάνει ἡ ἰσχύς τοῦ ΦΤ ἐπεὶδὴ αὐξάνουν οἱ ἰσχύες τῶν ἀντιστοιχῶν μερικῶν τῆς πηγαιᾶς φωνῆς.

Ἡ στάθμη ἤχου γιὰ τὸν ΦΤ εἶναι καί συνάρτηση τῶν φωνηέντων: γιὰ τὰ /e/ καί /i/ εἶναι μεγαλύτερη παρά γιὰ τὰ /u/ καί /o/ (Bloothoof, 1986). Ὁ 4ος φωνοσυντονισμός εἶναι ἀνεπηρέαστος ἀπὸ τὰ φωνήεντα, ἐνῶ εἶδαμε ὅτι ἐξαρτᾶται ἰσχυρά ἀπ' τὸ σχῆμα τοῦ λαρυγγικοῦ σωλῆνα.

Ἡ ἐξήγηση, ὡς πρὸς τὴν ἄρθρωση, γιὰ τὴν ἐμφάνιση τοῦ τραγουδιστικοῦ φωνοσυντονισμοῦ εἶναι ἡ ἐξῆς:

Στὶς ὀπερατικές φωνές, τὸ χαμήλωμα τοῦ λάρυγγα σχετίζεται ἄμεσα μέ διεύρυνση τῶν δύο λαρυγγικῶν κοιλιῶν, καὶ ἰδιαίτερος τοῦ κάτω μέρους τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ ποὺ περιβάλλει τὸν λαρυγγικὸ σωλῆνα, δηλαδή τοὺς ἀπιοειδεῖς κόλπους. Ἄν ἡ διατομή τοῦ φάρυγγα, στὸ ἐπίπεδο τῆς εἰσόδου τοῦ λαρυγγικοῦ σωλῆνα, εἶναι 6 φορές μεγαλύτερη ἀπ' τὴν διατομή αὐτῆς τῆς εἰσόδου, λόγω ἰδιαίτερου σχηματισμοῦ στασίμων κυμάτων μέσα στοὺς ἀπιοειδεῖς κόλπους, συμβαίνει ἡ συγκέντρωση τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν μέ ἀποτέλεσμα τὸν σχηματισμὸ τοῦ ΦΤ (Sundberg, 1974).

Ἡ ἀνωτέρω ἐξήγηση δέν μπορεῖ νά γενικευθεῖ ἀφοῦ σέ ἄλλες μορφές τέχνης μπορεῖ νά ὑπάρξει ἕνας ΦΤ χωρίς νά ἔχει προηγηθεῖ αὐτὴ ἡ διαδικασία. Ἕνα παράδειγμα εἶναι οἱ φωνές τῶν τραγουδιστῶν τῆς κινέζικης ὀπερας, ὅπου σχηματίζουν ἕνα ΦΤ χωρίς νά χαμηλώνουν τοὺς λάρυγγές τους (Wang 1983).



Σχῆμα 2.20. Ἡ ἔρρινοποίηση τῶν φωνηέντων ἔχει σάν ἀποτέλεσμα τὴν ἀπώλεια ἐνέργειας σέ ὠρισμένες συχνότητες καὶ ἄρα τὴν ἐμφάνιση ἐπὶ πλέον μηδενικῶν στήν συνάρτηση μεταφορᾶς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ (12).

Ποιά εἶναι ὅμως ἡ χρησιμότητα τοῦ ΦΤ;

Στὸ σχῆμα 2.19 παρατηροῦμε τὸ φάσμα τῆς φωνῆς ἑνὸς ὀπερατικοῦ τραγουδιστῆ καθὼς καὶ τὸ ἀντίστοιχο τῆς ὀρχήστρας, στὸ ὁποῖο φαίνεται ἡ σημαντικὴ διαφορὰ μεταξύ τους στὴν συχνοτική περιοχὴ γύρω στὰ 2800Hz. Ἡ παρουσία τῆς ἐνισχυμένης καὶ εὐρείας κορυφῆς, λόγω τοῦ ΦΤ, μέσα στὸ φάσμα μιᾶς ὀπερατικῆς ἀνδρικής φωνῆς, σαφέστατα τὴν διακρίνει σέ σχέση μέ τὴν ὀρχήστρα, καὶ ὁ τραγουδιστὴς μπορεῖ νά ἀκούγεται στὸ ἀκροατήριό μὴ καλυπτόμενος ἀπὸ αὐτήν.

Ἡ ἐξήγηση βασίζεται στὰ ὅσα ἀναφέραμε προηγουμένως γιὰ τὴν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα τῶν ὑψηλῶν συχνοτήτων ἀρμονικῶν κατευθεῖαν πρὸς τὸ ἀ-

κροατήριο, έναντι των χαμηλών αρμονικών, οι οποίες διαχέονται προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου και άρα ελαττώνεται πολύ η κατευθείαν έκπομπή τους.

2.4.6.5 Η επίδραση της ρινικής κοιλότητας

Η επίδραση της ρινικής κοιλότητας στο φάσμα των φωνητικών ήχων έχει σαν αποτέλεσμα την ακύρωση ή παγίδευση ενέργειας μέσα στη φωνητική οδό. Αυτό φαίνεται στο φάσμα με φασματικά μηδενικά στην συνάρτηση μεταφοράς της φωνητικής οδού (βλ. σχ. 2.20).

Τό φαινόμενο αυτό λέγεται *έρρινοποίηση (nasalization)* των φωνηέντων και επιτυγχάνεται με κλείσιμο της στοματικής κοιλότητας, είτε με πίεση της γλώσσας στην μαλακή ή σκληρή υπερώα, είτε μέσω των χειλιών (ολική διασύνδεση ρινικής κοιλότητας). Φυσικά αυτό γίνεται στα ρινικά σύμφωνα /μ/ και /ν/, αλλά και με μικρότερο βαθμό διασύνδεσης ρινικής κοιλότητας και φωνητικού συστήματος, στα έρρινοποιημένα φωνήεντα, τα οποία στην Βυζαντινή μουσική είναι περισσότερο συχνά απ' ό,τι σε άλλα είδη φωνητικής μουσικής.

Η απώλεια ισχύος κάποιων αρμονικών στο φάσμα λόγω χρήσεως της ρινικής κοιλότητας οφείλεται στο γεγονός ότι η έσωτερική της επιφάνεια λόγω ανάδιπλώσεων είναι μεγάλη (άρα υψηλότερες απώλειες), και επενδεδυμένη με βλεννογόνο στρώμα (μαλακό με μεγάλη τριβή). Τα έρρινοποιημένα φωνήεντα έχουν, ανάλογα με τον βαθμό διασύνδεσης της ρινικής κοιλότητας, πλατύτερα εύρη ζώνης από τα μη έρρινοποιημένα, για τον 1ο φωνοσυντονισμό και έχουν λιγότερο όξεϊες κορυφές των φωνοσυντονισμών στο φάσμα τους (Rabiner & Schafer, 1978).

Τα μηδενικά στην συνάρτηση μεταφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογα με τό μήκος της κλεισμένης στοματικής κοιλότητας. Σε άσθενή διασύνδεση όμως αλληλεπιδρούν τό σχήμα της φωνητικής οδού και τό μέγεθος του ρινικού ανοίγματος, για να καθορίσουν την θέση των μηδενικών στο φάσμα (Sundberg, 1987).

2.4.7 Σχέση φώνησης και φωνητικού διαγράμματος (ρεγκίστρου)

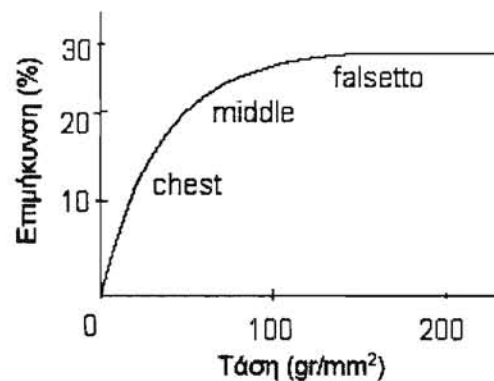
Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ της λειτουργίας του φωνητικού οργάνου και του μουσικολογικού όρου διάγραμμα (ρεγκίστρο), πού ήδη όρίσαμε. Πιό συγκεκριμένα υπάρχει σχέση μεταξύ της αναπνοής και της φώνησης, πού μπορεί να εξηγηθεί πάνω στην βάση των μηχανισμών προσαγωγής και απαγωγής των φωνητικών μυών. Η αναπνοειδής φώνηση, για παράδειγμα, σχετίζεται με ιδιαίτερη τοποθέτηση (posturing) του λάρυγγα, ή οποία αντιστοιχεί σε ένα χαλαρό τύπο φώνησης και ή οποία δέν παρατηρείται σε άλλους τύπους φώνησης.

Είδαμε πιό πάνω ότι τό φάσμα της πηγαίας φωνής μεταβάλλεται εξ αιτίας της αλλαγής του τρόπου φώνησης και άρα και τό συνολικό ήχόχρωμα της φωνής αλλάζει. Τό ήχόχρωμα συνδέεται άμεσα με την φωνητική ποιότητα πού αντιλαμβάνεται ο ακροατής και έπομένως με τό φωνητικό διάγραμμα.

Υπάρχουν διάφορα φωνητικά διαγράμματα για τα όποια δέν υπάρχει απόλυτη συμφωνία μεταξύ των δασκάλων του τραγουδιού. Μπορούμε να διακρίνουμε κατά βάση :

1. τό τυπικό (modal) διάγραμμα, τό όποιο χρησιμοποιείται στις χαμηλές συχνότητες φώνησης,

2. τό ψεύτικο (*falsetto*) διάγραμμα, τό όποιο χρησιμοποιοϋν άνδρικές φωνές μιμούμενοι τήν γυναικεία φωνή,
3. τό θωρακτικό (*chest*) ρεγκίστρο,
4. τό μεσαίο (*middle*) καί
5. τό κεφαλικό (*head*) διάγραμμα. Υπάρχουν ακόμη
6. τό παλμικό (*pulse*) ρεγκίστρο, γιά κάποιους βαθύφωνους Ρώσους πού ή φωνή τους ακούγεται τόσο χαμηλά ώστε οί παλμοί τής φωνής νά ακούγονται ξεκάθαρα, καθώς καί γιά ώρισμένες γυναικεΐες φωνές,
7. τό σφυρικό (*whistle*) διάγραμμα, στό όποιο ή φωνή ακούγεται σάν σφυρίχτρα.



Σχήμα 2.21. Σχέση τάσης φωνητικών χορδών καί τής αντίστοιχης επιμήκυνσής τους καί ή διάκριση τών φωνητικών διαγραμμάτων. Η δύναμη τάσης στό ψεύτικο (*falsetto*) είναι ή μέγιστη καί ή ελάχιστη στό θωρακτικό φωνητικό διάγραμμα (*chest*) (54).

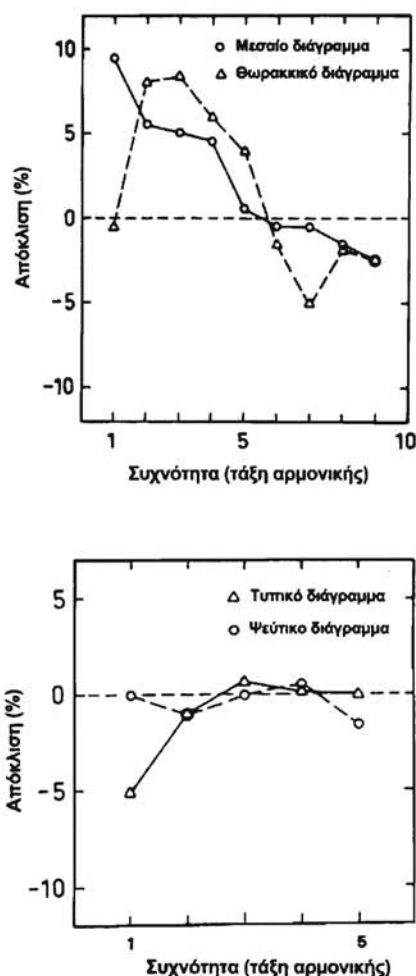
Οί περιοχές αλλαγής διαγραμμάτων γιά τίς συχνότητες φώνησης γιά κάθε διάγραμμα τοποθετοϋνται ως έξής: Τυπικό - ψεύτικο (200(G3) - 350(F4)Hz), θωρακικό - μεσαίο (400(G4)Hz), καί μεσαίο - κεφαλικό (660(E5)Hz).

Ο έλεγχος τής συχνότητας φώνησης συντελεΐται μέ βάση τήν τάση καί τήν παχύτητα τών φωνητικών χορδών, δηλαδή, γιά χαμηλούς τόνους οί φωνητικές χορδές είναι χαλαρές, κοντές καί παχεΐς (θωρακτικό), ενώ γιά ύψηλούς τόνους είναι τεταμένες, λεπτές καί μακρές (ψεύτικο). Η σχέση μεταξύ τάσης καί επιμήκυνσης τών φωνητικών χορδών δέν είναι γραμμική: όλο καί μεγαλύτερη δύναμη χρειάζεται γιά τήν επιμήκυνση καθώς πηγαΐνουμε πρός τήν ψεύτικη φωνή (σχήμα 2.21) (Sundberg, 1987).

Η αύξηση τής συχνότητας φώνησης μερικά ελέγχεται από τούς κρικοθυροειδεΐς μύες, μέ συστολή τους καί έν μέρει από τούς φωνητικούς μύς, πού μποροϋν νά σκληρύνουν μέ συστολή τους. Βρέθηκε ότι οί φωνητικοί μύες είναι ιδιαίτερα σημαντικοί γιά τίς μεταβολές τών φωνητικών διαγραμμάτων, καί όσο αυτοί οί μύες είναι σέ δραστηριότητα, ή φωνή διατηρεΐται στό τυπικό διάγραμμα, ενώ μεταβαΐνει στό ψεύτικο μόλις αυτοί πάσουν νά τείνουν τίς φωνητικές χορδές (Titze, 1994). Κατά τό ψεύτικο διάγραμμα δέν εμφανΐζεται πλήρες κλείσιμο τής γλωττίδος, ενώ οί

φωνητικές χορδές αυξάνουν και ελαττώνουν την γλωττιδική περιοχή, αλλά ποτέ δεν την μηδενίζουν. Μεταξύ των διαγραμμάτων τυπικό και ψεύτικο, στο δεύτερο παρατηρείται μικρότερος ρυθμός προσέγγισης στο γλωττιδόγραμμα και υψηλότερο πλάτος παλμών ροής από ότι στο πρώτο (Sundberg & Gauffin, 1979).

Γενικά, τό τυπικό διάγραμμα πιστεύεται ότι περιλαμβάνει μεγάλη μεταβλητότητα στα χαρακτηριστικά του ως προς την πηγαία φωνή. Κατά τη διάρκεια της φώνησης σέ ένα «βαρύ» διάγραμμα παρατηρήθηκε, χωρίς νά εΐναι γενικό, μιά αύξηση στην δραστηριότητα τοῦ κρικοθυρεοειδοῦς, φωνητικοῦ, καί πλαγίου κρικοαρυταινοειδοῦς, καθώς άλλαζε ή συχνότητα φώνησης, ἐνῶ σ' ένα πιό «ελαφρύ» διά-



Σχῆμα 2.22.Τό μεσαῖο διάγραμμα ἔχει πιό ἰσχυρή θεμελιώδη ἀπό τό θωρακικό ὅπως ἐπίσης τό ψεύτικο ἐναντι τοῦ τυπικοῦ φωνητικοῦ διαγράμματος (54).

γραμμα δέν συμβαίνει αὐτό. Ἀξίζει νά σημειωθεῖ ὅτι ταξινομοῦνται τά διαγράμματα μέ τήν σειρά: θωρακικό, μεσαῖο, κεφαλικό, ἐλαφρύ κεφαλικό, καί, ψεύτικο, δηλαδή ἀπό βαρύτερο σέ ἐλαφρότερο ρεγκίστρο ὅπου «ή βαρύτητα» εἶναι ἔννοια ψυχοακουστική (Hirano et al, 1970).

Γιά τά διαγράμματα τυπικό καί θωρακικό βρέθηκε ὅτι ἔχουν ἀσθενέστερες θεμελιώδεις ἀρμονικές ἀπό τά ψεύτικο καί μεσαῖο, ἀντίστοιχα (Sundberg, 1986).

Στό σχήμα 2.22 σχεδιάζονται μόνο οι αποκλίσεις από την κανονική κλίση των 12dB/octave, όμως φαίνεται για την θεμελιώδη αρμονική (1), ότι στο μεσαίο φωνητικό διάγραμμα είναι μεγαλύτερη.

Επίσης ανεξάσκητοι όμιλητές έχουν ασθενέστερη θεμελιώδη από εξασκημένους τραγουδιστές. Όσον αφορά στις μή εξασκημένες φωνές, όταν η ένταση της φώνησης αυξηθῇ, τὰ πλάτη τῶν ἀρμονικῶν ἐκτός τῆς θεμελιώδους αὐξάνονται σημαντικά περισσότερο ἀπ' ὅτι τῆς θεμελιώδους. Παρατηρήθηκε ὅτι τό ἴδιο συμβαίνει καί στις εξασκημένες φωνές (Carr & Trill, 1964; Cleveland, 1977).

Μιά σημαντική διαφορά μεταξύ τραγουδιῦ καί ὁμιλίας, ὡς πρὸς τὴν φώνηση, εἶναι ὅτι στό τραγούδι τό φάσμα τῆς πηγαίας φωνῆς πρέπει νά εἶναι, ὅσο τό δυνατόν, σταθερό ὡς πρὸς τίς ἀλλαγές τῆς τονικότητας καί τῆς ἔντασης τῆς φώνησης, ἐνῶ στήν ὁμιλία αὐτό δέν εἶναι ἀπαιτητικό. Ἀκόμη, ἐπειδὴ στό τραγούδι χρειάζεται ὁ ἀπόλυτος ἐλεγχος τῆς ἔντασης καί τοῦ τόνου δηλαδή τῆς συχνότητας φώνησης, ἄρα ἡ σωστή ἀναπνοή εἶναι πολύ σημαντική στό τραγούδι. Βέβαια μεταξύ ἐξασκημένων καί ἀνεξάσκητων φωνῶν, στίς πρῶτες ἡ σταθερότητα εἶναι πιό φανερή. Οἱ ἡχοχρωματικές ιδιότητες μιᾶς νότας-φθόγγου (θεωρῶντας τὴν φωνητική ποιότητα σάν φωνητικό χρῶμα) ἐξαρτῶνται ἀπὸ τίς συχνότητες τῶν ἰσχυρῶν καί ἀσθενῶν μερικῶν-ἀρμονικῶν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

3.1 Γενικές έννοιες

Η μουσική σέ όλες της τīs μορφές γίνεται κυρίως αντιληπτή διά μέσου τῆς ἀκοῆς καί ὡς καλλιτεχνικό φαινόμενο ἀλλά καί ὡς ἀκουστικό (φυσικό) ἐπίσης. Ἐπειδὴ ἐπιδρᾷ στὴν ψυχὴ τοῦ ἀνθρώπου οἱ ἔρευνες πρὸς τὴν κατεύθυνση τῆς κατανόησης αὐτῆς τῆς ἐπίδρασης πρέπει νὰ ἔχουν μεικτὸ χαρακτῆρα φυσικῆς καί ψυχολογίας, δηλαδή ψυχοακουστικὸ χαρακτῆρα. Ἐνα ψυχοακουστικὸ χαρακτηριστικὸ τῆς φωνητικῆς ἀλλὰ καί γενικότερα τῆς ἐνόργανης μουσικῆς εἶναι ἡ ἰδιαίτερη «ποιότητα» τοῦ ἡχου τῆς φωνῆς ἢ τοῦ μουσικοῦ ὀργάνου. Αὐτὴν τὴν ποιότητα τὴν ἀποδίδουμε μέ τὸν ὄρο «ἡχόχρωμα» κατ' ἀναλογίαν πρὸς τὰ ὀπτικά χρώματα καί ἐνδιαφερόμαστε γιὰ τīs ποικίλες διαφοροποιήσεις του. Στīs ἐπόμενες παραγράφους θὰ ἀσχοληθοῦμε περιγραφικὰ μέ στοιχεῖα τῆς ἀντιληψης τοῦ ἡχοχρώματος.

Ἀρχικὰ περιγράφουμε τὴν ταξινόμηση γενικῶν ποιότητων διακρίνοντας τīs ἀντίστοιχες διαστάσεις τους μέσα στīs ὁποῖες μεταβάλλονται. Ὑστερα ἀφοῦ ὀρίσουμε τīs τέσσερις φωνητικῆς ποιότητες τīs ἐντάσσουμε μέσα σ' αὐτές τīs γενικῆς ἡχοχρωματικῆς διαστάσεις καί, παράλληλα, συζητοῦμε τīs σχέσεις τους μέ τὰ φυσιολογικὰ καί ἀκουστικὰ χαρακτηριστικὰ τους. Σύμφωνα μέ τὸν Terhardt (1974) ὑπάρχει σχέση μεταξύ ἡχοχρωματικῆς διάστασης καί φάσματος τῆς φωνῆς. Βασιζόμενοι σ' αὐτὴν τὴν σχέση συζητοῦμε τὴν σχέση μεταξύ φωνητικῆς ὁδοῦ καί ἡχοχρώματος. Παράλληλα, ἐξετάζουμε τὴν σχέση πηγαιῆς φωνῆς καί ἡχοχρώματος βασιζόμενοι κυρίως στὸ φᾶσμα τοῦ φωνητικοῦ ἡχου καί ἔχοντας κάνει τὴν σαφῆ ὑπόθεση ὅτι τὸ φᾶσμα συχνοτήτων τῆς πηγαιῆς φωνῆς συνδέεται ἄμεσα μέ τὸ συνολικὸ ἡχόχρωμα τῆς φωνῆς.

3.1.1 Ἡχοχρωματικῆς διαστάσεις

Σύμφωνα μέ τούς Colton καί Estill (1981) ὑπάρχει ἓνας 5-διάστατος χῶρος τοῦ ὁποίου κάθε διεύθυνση παριστάνει μιὰ ἡχοχρωματικὴ διάσταση τοῦ φωνητικοῦ ἡχου. Κάθε τέτοια διάσταση περιλαμβάνει δύο ἀκρότατα ὅρια πού συνιστοῦν κάποιες σχεδὸν ἀντίθετες ποιότητες μεταξύ τους ἐνῶ ὑπάρχει συνεχῆς διαβάθμιση στὸ ἐνδιάμεσο αὐτῶν ὅπου μεταβάλλεται τὸ ἡχόχρωμα ἀπὸ τὴ μιὰ ποιότητα στὴν ἄλλη. Γιὰ παράδειγμα ἔστω ἡ διάσταση ΛΕΙΟ ΤΡΑΧΥ (SMOOTH - ROUGH). Σ' αὐτὴν τὴν διάσταση ἡ ποιότητα μέ συνεχῆ μεταβολὴ μετατρέπεται ἀπὸ τὴν ποιότητα τοῦ «λείου» στὴν ποιότητα τοῦ «τραχέος». Εἶναι ἐπομένως φανερό ὅτι μπορεῖ ἓνας φωνητικὸς ἦχος νὰ μὴν εἶναι οὔτε τραχύς οὔτε λεῖος ἀλλὰ κατὶ ἐνδιάμεσο καί μάλιστα μέ διαφορῆς ἀποχρώσεις.

Ὅπως οἱ διαστάσεις τοῦ γεωμετρικοῦ Εὐκλείδειου χώρου εἶναι ἀνεξάρτητες μεταξύ τους ἔτσι καί οἱ ἡχοχρωματικῆς διαστάσεις - ποιότητες εἶναι σαφῶς διακριτές μεταξύ τους. Οἱ ἀνωτέρω μνημονευθέντες συγγραφεῖς διακρίνουν συνολικὰ τīs ἐξῆς διευθύνσεις:

1. ΚΑΝΟΝΙΚΟ . . . ΑΝΩΜΑΛΟ (NORMAL - ABNORMAL), καί
2. ΚΑΛΟ . . . ΚΑΚΟ (GOOD - BAD).

Αυτές οι διευθύνσεις περιλαμβάνουν και αρκετές άλλες, οι οποίες σύμφωνα με τα δεδομένα των ως άνω έρευνών μπορούν να ομαδοποιηθούν στις κατωτέρω έξι κατηγορίες.

Για παράδειγμα, η ποιότητα του «ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ» υποδιαίρεται στις διευθύνσεις:

- ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ (ACTIVITY),
- ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ (PURITY),
- ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ (BRIGHTNESS),
- ΝΕΑΝΙΚΟΤΗΤΑ (YOUTHFULNESS),
- ΥΦΗ (TEXTURE).

οι οποίες υποδιαίρονται περαιτέρω σε υποδιευθύνσεις - ποιότητες σύμφωνα με τους Colton & Estill (1981).

Η συνολική ταξινόμηση της ποιότητας του «κανονικού» περιλαμβάνεται στον πίνακα 3.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

Ηχοχρωματικές διαστάσεις της ποιότητας του «κανονικού» και οι υποδιευθύνσεις τους (Colton & Estill, 1981).

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ	ΝΕΑΝΙΚΟΤΗΤΑ	ΥΦΗ
1) ΠΑΘΗΤΙΚΟ ... ΕΝΕΡΓΟ (PASSIVE - ACTIVE)	1) ΤΡΑΧΥ ... ΛΕΙΟ ROUGH - SMOOTH	1) ΛΕΠΤΟ ... ΠΑΧΥ (THIN - THICK)	1) ΩΡΙΜΟ ... ΝΕΑΝΙΚΟ MATURE - YOUTHFUL	1) ΞΗΡΟ ... ΥΓΡΟ DRY - WET
2) ΓΑΛΗΝΙΟ ... ΔΟΝΟΥΜΕΝΟ STILL - VIBRANT	2) ΑΚΑΘΑΡΤΟ ... ΚΑΘΑΡΟ IMPURE - PURE	2) ΦΩΤΕΙΝΟ ... ΣΚΟΤΕΙΝΟ (BRIGHT - DARK)	2) ΠΑΛΗΟ ... ΝΕΟ OLD - NEW	2) ΚΡΥΟ ... ΖΕΣΤΟ COLD - HOT
3) ΑΣΘΕΝΙΚΟ ... ΡΩΜΑΛΕΟ FEEBLE-VIGOROUS	3) ΑΣΦΥΚΤΙΩΝ ... ΕΛΕΥΘΕΡΟΣ CHOKED - FREE	3) ΕΛΑΦΡΥ ... ΒΑΡΥ LIGHT - HEAVY	3) ΠΡΟΣΕΚΤΙΚΟ ... ΑΠΕΡΙΣΚΕΠΤΟ CAUTIOUS - RASH	3) ΣΚΛΗΡΟ ... ΜΑΛΑΚΟ HARD - SOFT

3.1.2 Τρόποι φωνής και φωνητική ποιότητα

Είναι δυνατόν να διακριθούν σαφώς τέσσερις φωνητικές ποιότητες για να περιγράψουν τους φωνητικούς ήχους. Αυτές είναι:

1) Η όμιλία (speech), δηλαδή η φωνητική ποιότητα όπως καθημερινά συνομιλούμε,

2) τό κλάμα (cry), που είναι τό ήχοχρωμα της φωνής του ανθρώπου που κλαψουρίζει ήρεμα ή κλαίει με ήσυχους λυγμούς,

3) τό twang, που είναι τό φωνητικό ήχοχρωμα του τραγουδιού country - western, και

4) τό κουδούνισμα (ring) της φωνής του όπερατικού τραγουδιού, δηλαδή ο βαθύς «γεμάτος» τόνος που ακούγεται τυπικά στην όπερατική σκηνή (Colton & Estill, 1981).

Οι ανωτέρω τρόποι που ονομάζονται απλώς τρόπος 1, τρόπος 2, κ. λ. π., δέν σχετίζονται με τό φωνητικό διάγραμμα (register), τό όποιο αναφέραμε στό προηγούμενο κεφάλαιο, γιατί τά φωνητικά διαγράμματα άντανακλούν σε μικρές ήχοχρωματικές μεταβολές. Οι φωνητικοί τρόποι περιγράφουν χονδρικές διαφορές και έπομένως είναι πιθανό να αποδίδονται τά διαγράμματα σάν κάποιοι γραμμικοί συνδυασμοί τους.

3.1.3 Χαρακτηριστικά τῶν φωνητικῶν τρόπων

Τά χαρακτηριστικά τῶν τρόπων φωνῆς μποροῦν νά διαιρεθοῦν στίς ἐξῆς κατηγορίες: α) Ἀντιληπτικά χαρακτηριστικά, β) Ἀκουστικά χαρακτηριστικά, καί γ) Φυσιολογικά χαρακτηριστικά.

α) Ἀντιληπτικά χαρακτηριστικά. Συνοπτικά ἀναφέρουμε ὅτι οἱ 4 φωνητικοί τρόποι μποροῦν νά περιγραφοῦν ἀπό ἓνα κοινό σύνολο ἀντιληπτικῶν διευθύνσεων, ὅπως ἀνακάλυψαν οἱ Colton & Estill, πού περιλαμβάνει:

1. τό τονικό ὕψος (*pitch*),
2. τόν χῶρο (*space*),
3. τήν φωτεινότητα - ἐνταση (*brightness-loudness*), καί,
4. τήν ρινικότητα (*nasality*), ἐνῶ μπορεῖ νά προστεθεῖ καί
5. ἡ ὕφή (*texture*).

Μποροῦμε νά παρατηρήσουμε ὅτι οἱ διευθύνσεις τῆς «φωτεινότητας» καί τῆς «ὕφης» ὑπάγονται στήν ποιότητα τοῦ «κανονικοῦ» ἐνῶ προστίθενται κι ἄλλες οἱ ὁποῖες δέν περιλαμβάνονται. Ἀντιληπτικά, ἓνας παρατηρητής ταξινομεῖ ἓνα φωνητικό ἡχόχρωμα στήν κατηγορία ἐκείνη, πού ἔχει μιά κοινή ἀντιληπτική διεύθυνση μέ τό ὑπό ἐξέταση ἡχόχρωμα.

β) Ἀκουστικά χαρακτηριστικά. Σημαντικό στοιχεῖο γιά ἓναν βαρύτονο ἢ ἱεροψάλτη, ὁ ὅποιος τραγουδᾷ στό μέσο La (220Hz) εἶναι ἡ κατανομή τῆς ἐνέργειας τοῦ φάσματος τῆς φωνῆς του. Πιο συγκεκριμένα, ὁ φωνητικός τρόπος 2 (κλάμα) χαρακτηρίζεται ἀπό ἰσχυρότατες χαμηλές ἀρμονικές καί ἀπό ἔλλειψη ὑψηλῶν ἀρμονικῶν (πέραν τῶν 2000Hz). Οἱ ὑπόλοιποι τρόποι ἔχουν εὐρύ φάσμα ἐξετάζοντας μέχρι 8kHz καί μέ κατώτατη στάθμη πιέσεως ἡχου (Sound Pressure Level -SPL) μέχρι 90dB. Διακρίνονται ὁμως μεταξύ τους ἐπειδὴ ὁ τρόπος 1 (ὁμιλία) ἔχει μέγιστη ἐνέργεια κοντά στό 1kHz, ἐνῶ ὁ τρόπος 3 (*twang*) ἔχει σημαντικό ποσοστό ἐνέργειας στίς περιοχές συχνοτήτων 1-2kHz καί 2-3kHz. Τέλος ὁ τρόπος 4 (*ring*) ἔχει σημαντική ἐνέργεια στήν περιοχή συχνοτήτων 2-3kHz καθώς καί μέγιστο στά 3000Hz. Τά ἀνωτέρω φασματικά δεδομένα ἀφοροῦν τό φωνῆεν /a/ (Colton & Estill, 1981).

γ) Φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Τά χαρακτηριστικά τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ (*vocal tract*) ἀλλάζουν μεταξύ τῶν φωνητικῶν ἀνωτέρω τρόπων.

Συγκεκριμένα, τό μήκος μεγαλώνει μεταβαίνοντας ἀπό τοὺς τρόπους 3,1,4 στόν τρόπο 2, ἐνῶ τό σχῆμα παρουσιάζει τήν μεγαλύτερη διατομή στόν τρόπο 2 καί τήν μικρότερη γιά τόν τρόπο 3.

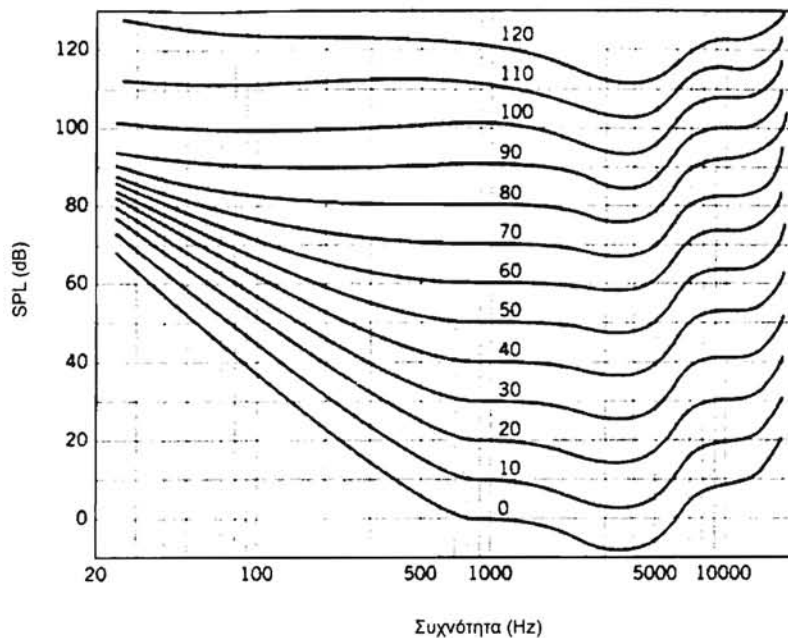
Ἐπίσης μέ κάθοδο τῆς μαλακῆς ὑπερώας στό τρόπο 3 τό φωνητικό σύστημα συνδέεται μέ τόν ρινοφάρυγγα, πρᾶγμα πού ἀναφέρεται σάν «τοποθέτηση στήν μάσκα» (βλ. σχῆμα 1.17). Ἡ περιοχή τοῦ ἀρυεπιγλωττιδικοῦ σφινγκτῆρα (τῆς ἐπιγλωττίδας) στόν τρόπο 2, παρουσιάζει τό μεγαλύτερο ἀνοιγμα καί στόν τρόπο 3 τό μικρότερο ἀνοιγμα ἔτσι ὥστε μάλιστα, καθώς προσπαθεῖ νά φέρει τήν φωνή «στήν μάσκα» νά παρατηρεῖται σύσφιγξη στήν ὑπερλαρυγγική δομή.

Ἡ κατακόρυφη θέση τοῦ λάρυγγα εἶναι διαφορετική γιά κάθε τρόπο, μέ καθοδική κίνηση κατά σειρά τῶν φωνητικῶν τρόπων : 1 - 3 - 4 - 2. Φαίνεται, δηλαδή, ὅτι

ο τρόπος του «ring» αντιστοιχεί σε χαμηλότερο λάρυγγα απ' ότι παρουσιάζει ο τρόπος του «twang».

Τέλος ως προς τα γλωττιδογράμματα ροής, για τον τρόπο 1 φαίνεται ότι υπάρχει γλωττιδική διαρροή αέρος (βλ. §1.3.3) όταν κλείνουν οι φωνητικές χορδές, πράγμα που σημαίνει ότι η γλωττίδα δεν κλείνει εντελώς. Στόν τρόπο 2 δεν κλείνουν καθόλου οι φωνητικές χορδές ενώ το γλωττιδογράμμα ροής αποκτά ήμιτονοειδή μορφή. Στόν τρόπο του twang ή μορφή του γλωττιδογράμματος είναι σειρά παλμών σχεδόν τριγωνικής μορφής με κλειστή φάση μικρής διάρκειας και ρυθμό ανοίγματος μεγαλύτερο από τον ρυθμό προσέγγισης (Colton - Estill 1981). Η μορφή των τριγωνικών παλμών συνδέεται με την μεταφορά μεγάλου ποσοστού ενέργειας στην περιοχή υψηλών συχνοτήτων του φάσματος της φωνής, ενώ παράλληλα το πλάτος των παλμών είναι συνήθως μικρό, κάτι που σημαίνει μικρό πλάτος θεμελιώδους συχνότητας. Στόν τρόπο του «ring» οι παλμοί είναι επίσης τριγωνικοί με μεγάλο και σταθερό πλάτος καθώς και με μεγάλο ρυθμό προσέγγισης πράγμα το οποίο σημαίνει επίσης μεγάλη θεμελιώδη αρμονική και μεγάλο ποσοστό ενέργειας στην υψηλή περιοχή του φάσματος (Sundberg, 1987).

3.2 Στάθμη πιέσεως ήχου (SPL) και άκουστικότητα



Σχήμα 3.1. Καμπύλες ίσης άκουστότητας σε phons στάθμης πιέσεως ήχου και συχνότητας. Ήχοι ίσης έντασης δεν γίνονται το ίδιο αντιληπτοί από την ανθρώπινη ακοή (Gold & Morgan, 2000).

Τό αίσθημα κάθε ανθρώπινης αίσθησης αυξάνει λογαριθμικά μέ την ένταση του έρεθίσματος, όπως έχει επιβεβαιωθεί από πολλά πειράματα, τά όποια ωδήγησαν στη χρήση της κλίμακας ντεσιμπέλ. Η μονάδα μέτρησης της ακουστότητας είναι τό sone, όπου τό 1 sone είναι ή ακουστότητα ενός τόνου συχνότητας 1000Hz έντασης 40dB SPL. Η μονάδα μέτρησης της στάθμης ακουστότητας είναι τό 1 phon, όπου ή στάθμη ακουστότητας σέ phons ενός ήχου είναι αριθμητικά ίση μέ την στάθμη έντασης σέ dB άπλου τόνου 1000Hz, που θεωρείται ίσης έντασης από τόν μέσο ακροατή.

Η σχέση μεταξύ της πίεσης \bar{P} (rms) και της έντασης I αν είναι γνωστή ή ταχύτητα του ήχου c και ή πυκνότητα του μέσου (αέρας) ρ_0 εντός του όποιου διαδίδεται είναι ή εξής (Gold & Morgan, 2000) :

$$I = \frac{\bar{P}^2}{2\rho_0 c} \quad (3.1.)$$

μέ τίς βασικές προϋποθέσεις ότι ή πηγή ήχου είναι σημειακή, δέν υπάρχουν ανακλάσεις και ότι τό μέσο (αέρας) δέν απορροφά ενέργεια. Τό τελευταίο δέν ισχύει για σήματα ύψηλης συχνότητας.

Σύμφωνα μέ τίς εργασίες του Stevens (1956) και άλλων υπάρχει μιά έμπειρική σχέση μεταξύ της ήχητικής πίεσης \bar{P} και της ακουστότητας S μετρημένης σέ sones :

$$S \propto P^{0.6} \quad (3.2.)$$

ή όποια εξαρτάται από την συχνότητα, την ένταση και την ποιότητα του ήχου. Τό σχήμα (3.1) δείχνει τυπικές καμπύλες ίσης στάθμης ακουστότητας (phons), της στάθμης πίεσεως σάν συνάρτηση της συχνότητας άπλών αρμονικών ήχων.

Παρατηρούμε ότι ή ανθρώπινη ακοή δέν έχει την ίδια ευαισθησία σέ όλες τίς συχνότητες. Την μεγαλύτερη ευαισθησία έχει μεταξύ 3 και 4kHz ενώ την χαμηλότερη στις χαμηλές συχνότητες. Πιο συγκεκριμένα οι άπλοι ήχοι 100Hz, 500Hz, 1000Hz, 3000Hz, 5000Hz, ίσης έντασης 60dB, γίνονται αντίληπτοί ως, 32dB, 57dB, 60dB, 62dB και 58dB, αντίστοιχα.

Γιά νά δούμε την σχέση μεταξύ έντασης και ακουστότητας, αντικαθιστούμε στη σχέση 3.2, την 3.1, όποτε προκύπτει ή σχέση 3.3

$$S \propto I^{0.3} \quad (3.3.)$$

πού σημαίνει ότι ή ακουστότητα είναι ανάλογη μέ την κυβική ρίζα της έντασης. Έτσι αν αύξηθεϊ κατά 10dB ή στάθμη έντασης, από την 2.1 προκύπτει ότι ή ένταση πολλαπλασιάζεται κατά ένα παράγοντα ίσο μέ 10 και, έπομένως, ή ακουστότητα διπλασιάζεται.

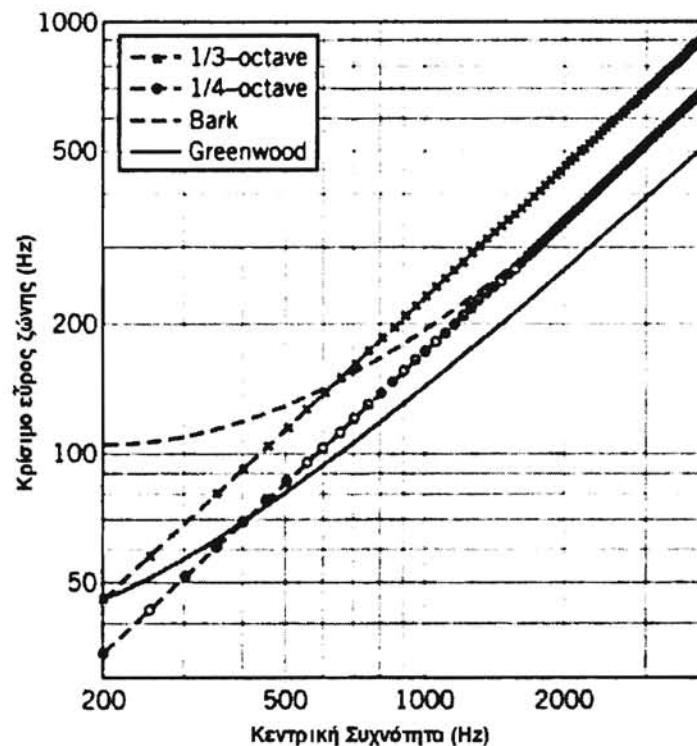
3.3 Ανάλυση συχνότητας και κρίσιμες ζώνες

Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο ότι ή ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής εξαρτάται άπ' την συχνότητα των άπλών ήχων. Τί γίνεται όμως όταν οι ήχοι αυτοί ακούγονται ταυτόχρονα μέ άλλους;

Σύμφωνα μέ τά πρώιμα πειράματα του Fletcher (1953), κατά την ακρόαση ενός άπλου τόνου συγκεκριμένης συχνότητας ό ακροατής εφαρμόζει ένα είδος ψυχολογι-

κοῦ φίλτρου μέ συγκεκριμένο εὔρος ζώνης διέλευσης. Πιο συγκεκριμένα, ἕνας ἀκροατὴς ἀκούγοντας ἕναν ἀπλό τόνο ταυτόχρονα μέ θόρυβο περιορισμένου εὔρους ζώνης ἀρχικά διακρίνει τὸν τόνο, ποῦ ἐπιλέγεται νά εἶναι ἀρκετά ἰσχυρότερος τοῦ θορύβου. Ἐλλατώνοντας, ὅμως, τὴν στάθμη ἰσχύος τοῦ τόνου μέχρις ὅτου ὁ ἀκροατὴς νά μὴν διακρίνει τὸν τόνο μέσα στὸν θόρυβο (ἀρχὴ κρίσιμης ζώνης), καὶ συνεχίζοντας τὴν ἐλλάττωση τοῦ εὔρους ζώνης τοῦ θορύβου βρίσκει μιά κρίσιμη τιμὴ μετὰ ἀπὸ τὴν ὁποία δέν μπορεῖ νά διακρίνει πάλι τὸν τόνο (τέλος κρίσιμης ζώνης). Ἔτσι, ἡ διακρισιμότητα τῆς ἀκοῆς ὡς πρὸς τὴν παρουσία ἢ ἀπουσία τοῦ τόνου βασίζεται στό λόγο σῆμα πρὸς θόρυβο (ΣΠΘ - S/N) μέσα στὴν ἀνωτέρω κρίσιμη περιοχὴ συχνοτήτων τοῦ θορύβου, ἐπειδὴ ἔξω ἀπ' αὐτὴν, ἡ ἀκοή ἀγνοεῖ ἐντελῶς τὴν παρουσία τοῦ θορύβου.

Ὁ Fletcher ὀνόμασε αὐτὸ τὸ εὔρος ζώνης τοῦ ψυχολογικοῦ φίλτρου *εὔρος κρίσιμης ζώνης (critical bandwidth)* ἐνῶ ἀργότερα ἄλλοι ἐρευνητές ἀνέπτυξαν μεθόδους ἐκτίμησης αὐτῶν τῶν ἀκουστικῶν φίλτρων. Μερικὲς ἀπὸ τίς κλίμακες τῶν κρίσιμων ζωνῶν (*critical bands*), ποῦ ἐκτιμήθηκαν καὶ περιγράφουν τὸ εὔρος ζώνης συναρτήσει τῆς συχνότητας, εἶναι ἡ κλίμακα τοῦ Bark καὶ ἡ κλίμακα Greenwood (σχ. 3.2).



Σχῆμα 3.2. Διάφορες κλίμακες μεταβολῆς τοῦ κρίσιμου εὔρους ζώνης σέ συνάρτηση μέ τὴν κεντρικὴ συχνότητα τοῦ ψυχολογικοῦ φίλτρου (Gold & Morgan, 2000).

Μιά πιό συχνά χρησιμοποιούμενη κλίμακα εἶναι ἡ mel ἡ ὁποία ἔχει τὴν ἀπλὴ ἀναλυτικὴ μορφή :

$$m = 1125 * \log(0.0016 * f + 1) \quad (3.4.)$$

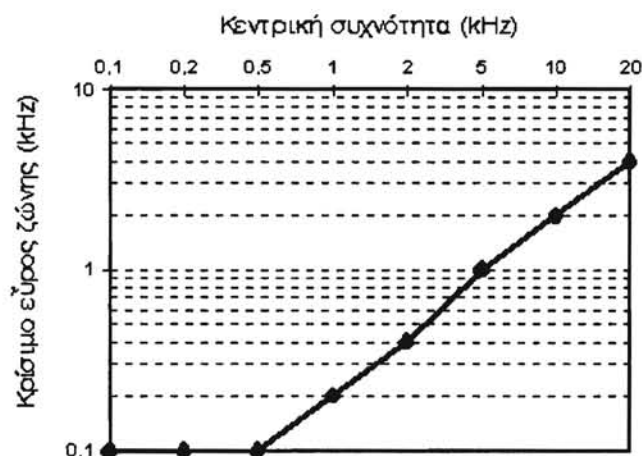
ὅπου f ἡ συχνότητα σέ Hz.

Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η κεντρική συχνότητα αυξάνεται και το εύρος ζώνης του ψυχολογικού φίλτρου τό όποιο έχει αυτή την κεντρική συχνότητα.

3.4 Κρίσιμες ζώνες καί ήχόχρωμα

Όπως μνημονεύσαμε πιο πριν, υπάρχουν διάφορες ήχοχρωματικές διευθύνσεις έτσι ώστε δύο φωνητικοί ήχοι έχοντας τό ίδιο τονικό ύψος καί την ίδια ακουστική ένταση νά μπορούν νά διαφέρουν. Μία από τίς διευθύνσεις αυτές είναι αυτή πού αναφέρεται σαν «καθαρότητα» μέ μία από τίς υποδιευθύνσεις της «λελο . . . τραχύ».

Σύμφωνα μέ τόν Terhardt (1974), αυτή η ήχοχρωματική διάσταση εξαρτάται από τά πλάτη των αρμονικών συνιστωσών του φάσματος καθώς καί από την μεταξύ τους συχνοτική απόσταση στό διάγραμμα των κρίσιμων ζωνών. Στό διάγραμμα αυτό (βλέπε σχήμα 3.3), σέ κάθε κρίσιμη ζώνη, δύο γειτονικές αρμονικές δέν είναι διακρισιμες από τό σύστημα ακοής μας. Η ακοή, δηλαδή, δέν αντιλαμβάνεται δύο ξεχωρι-



Σχήμα 3.3. Σχηματική καμπύλη μεταβολής του κρίσιμου εύρους ζώνης (critical bandwidth) συναρτήσει του μέσης συχνότητας δύο καθαρών τόνων (κεντρική συχνότητα) που απέχουν ένα κρίσιμο εύρος ζώνης μεταξύ τους. Στίς χαμηλές συχνότητες τό εύρος ζώνης είναι σταθερό ενώ μεταβάλλεται σχεδόν ανάλογα μέ την κεντρική συχνότητα στίς υψηλότερες συχνότητες (περίπου 20% της κεντρικής συχνότητας) (Moore, 1989).

στούς ταυτοχρόνους ανεξαρτήτους ήχους αλλά τούς αναμειγνύει σέ έναν μοναδικό καί αδιαίρετο. Έτσι, γιά νά μπορέσει νά διακρίνει τίς δύο κοντινές αρμονικές σαν δύο ξεχωριστούς τόνους, πρέπει νά απέχουν συχνοτική απόσταση μεγαλύτερη από τό εύρος ζώνης της αντίστοιχης κρίσιμης ζώνης. Γιά τόν λόγο αυτό, τό ήχοχρωματικό αποτέλεσμα δύο τέτοιων αρμονικών είναι έντελως ιδιαίτερο μέ κάποια αίσθηση τραχύτητας, λόγω της μή «καθαρότητας» στην συχνότητα. Όλα τά ζεύγη των αρμονικών, οι όποίες είναι παρόμοιες σέ πλάτος καί απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από μία κρίσιμη ζώνη, συνεισφέρουν στην «τραχύτητα» του ήχοχρώματος.

Όσο η θεμελιώδης συχνότητα είναι μικρή, περίπου ίση μέ 98Hz (κάτω Sol-G2) είναι φανερό ότι όλες οι αρμονικές συνεισφέρουν σέ τραχύτητα στό ήχόχρωμα (βλέπε σχήμα 3.3). Όταν όμως η θεμελιώδης ανέβει πάνω από 100Hz, έστω 131Hz (C3), τότε η επόμενη αρμονική είναι στά 262Hz, πού απέχει από την πρώτη 131Hz, δηλαδή περισσότερο από την κρίσιμη ζώνη των 100Hz. Όμως, έπειδή όσο αυξάνει η

τάξη των αρμονικών αυξάνει και το εύρος της κρίσιμης ζώνης, μετά από μία τιμή της τάξης και πάνω θα έχουμε συνεισφορά σε τραχύτητα στο ήχοχρωμα. Οι δύο αρμονικές συχνότητες για τις οποίες γίνεται αυτό θα απέχουν περίπου 20% της θεμελιώδους, σύμφωνα με το ανωτέρω σχήμα, δηλαδή θα είναι:

$$\frac{\Delta f}{(v+1/2)f_o} \leq 0.2 \Rightarrow \frac{f_o}{(v+1/2)f_o} \leq 0.2 \Rightarrow v \geq 4.5 \quad (3.5.)$$

πράγμα που σημαίνει ότι μετά την 5^η αρμονική θα έχουμε σύγχυση μεταξύ των αρμονικών.

Τώρα αν κάνουμε την απλή σκέψη ότι ένα συνηθισμένο τονικό ύψος για τους ιεροψάλτες είναι περίπου τό μεσαίο Δι (196 Hz), προκύπτει ότι η 5^η είναι στά 980Hz, δηλαδή, πλησιέστερα στον 2ο φωνοσυντονισμό (τουλάχιστον για τα περισσότερα φωνήεντα). Λόγω της εξάρτησης του ήχοχρώματος από τις σχέσεις των πλατών των αρμονικών του φάσματος, έκεϊ, πού τά πλάτη είναι σχετικά μικρά, ή επίδραση των αντίστοιχων αρμονικών είναι επίσης μικρή. Έτσι υπερισχύουν οι ένισχυμένες αρμονικές έχοντας περίπου ίσο μεταξύ τους πλάτος.

Αν σκεφθούμε ότι πρέπει νά είναι περίπου ίσης ισχύος οι δύο γειτονικές αρμονικές τότε πρέπει νά είναι αυτές πού ένισχύονται από τούς φωνοσυντονισμούς. Για μή διαδοχικές αρμονικές, δηλαδή, έξισου ισχυρές, οι όποιες όμως συμπίπτουν μέ τούς φωνοσυντονισμούς, τό ίδιο φαινόμενο αντίληπτικής σύγχυσης θα συμβαίνει αν οι συχνότητές τους απέχουν λιγότερο από μία κρίσιμη ζώνη. Τό επί πλέον πού θα συμβεί είναι ότι κάποια δέσμη διαδοχικών αρμονικών θα πέφτει μέσα στην κρίσιμη ζώνη ένισχύοντας περισσότερο τό αντίληπτικό αποτέλεσμα της τραχύτητας.

Γιά τούς παραπάνω λόγους οδηγούμαστε στην μελέτη των φωνοσυντονισμών ύψηλης τάξης του φάσματος για την ήχοχρωματική μελέτη των φωνητικών ψαλτικών ήχοακουσμάτων.

3.5 Φωνητικό όργανο και ήχοχρωμα

3.5.1 Πηγαία φωνή και ήχοχρωμα

Στά ανωτέρω τέσσερα είδη ήχοχρωμάτων δόθηκε μία περιγραφή του γλωττιδογράμματος ροής για κάθε τρόπο φωνής καθώς και μία αντίστοιχη χονδρική περιγραφή των διαφορών τους. Βέβαια οι φασματικές διαφορές πού έχουν περιγραφεί προέκυψαν από μελέτες πάνω σε όπερατικούς, κυρίως, τραγουδιστές αλλά και σε άλλους, όχι έξασκημένους τραγουδιστές, έτσι ώστε νά γίνει σύγκριση μεταξύ τους.

Από την άποψη του ήχοχρώματος υπάρχει ένας θεμελιώδης όρος για την φωνητική μουσική, αν και άσαφής μεταξύ των δασκάλων της φωνής, ο όποιος ήδη αναφέρθηκε στο 1ο κεφάλαιο και λέγεται φωνητικό διάγραμμα ή ρεγκίστρο. Ανάλογα μέ τό πώς αντιλαμβάνεται κάποιος τις ήχοχρωματικές διαφορές δίνει και ξεχωριστή διαίρεση των φωνητικών διαγραμμάτων. Είδαμε ότι οι πιο χονδρικές διαφορές στην φωνητική ποιότητα απεικονίζονται μέ τούς όρους τυπικό (modal) και ψεύτικο (falsetto) φωνητικό διάγραμμα. Για τό τυπικό διακρίνουμε επίσης τις ύποπεριπτώσεις θωρακτικό (chest) και κεφαλικό διάγραμμα (head register) (Hirano et al 1970), όσον αφορά στην άνδρική φωνή. Σημαντικό ρόλο στην διάκριση των

φωνητικῶν διαγραμμάτων, εἶδαμε ὅτι παίζει ἡ συχνότητα τῆς θεμελιώδους ἀρμονικῆς, ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ στήν συχνότητα φώνησης. Ἐτσι τό θωρακικό διάγραμμα χρησιμοποιεῖται γιά χαμηλές συχνότητες φώνησης ἐνῶ τό κεφαλικό γιά ὑψηλές συχνότητες.

Ἐπίσης τό γλωττιδόγραμμα ροῆς σχετίζεται ἄμεσα μέ τό φᾶσμα τῆς πηγαίας φωνῆς καί ἐπομένως μέ τό ἡχόχρωμά της. Εἶδαμε ὅτι ὅσο πιο ὁμαλό καί μέ μικρές κλίσεις στίς φάσεις ἀνοίγματος καί προσέγγισης τῆς γλωττιδικῆς σχισμῆς εἶναι τό γλωττιδόγραμμα, τόσο περιορίζεται ἡ συμμετοχή τῶν ὑψηλῶν ἀρμονικῶν στό φᾶσμα τῆς πηγαίας φωνῆς ἐνῶ τό ἀντίστροφο ἰσχύει γιά γλωττιδόγραμμα μέ ἀπώτομες μεταβολές. Μεγάλο πλάτος γλωττιδογράμματος σημαίνει ἰσχυρή θεμελιώδη ἀρμονική (Sundberg & Gauffin, 1979). Σέ ὅλους τούς ἀναπνοειδεῖς τύπους φωνήσεων, ἐπειδή περνάει ἀέρας μέσα ἀπό τίς φωνητικές χορδές δημιουργεῖται στροβιλισμός, μέ ἀποτέλεσμα τήν δημιουργία θορύβου στό φᾶσμα τοῦ παραγόμενου ἤχου. Μέρος τῶν φωνητικῶν ἡχοχρωματικῶν διαφορῶν μεταξύ ἀνδρῶν καί γυναικῶν φαίνεται νά ὀφείλονται στήν πηγαία φωνή, μέ κυριότερη διαφορά στό πλάτος τῆς θεμελιώδους, ὅπου τοῦ ἀνδρός εἶναι ἀσθενέστερη (Colton - Estill 1981).

Ἐπειδή, γενικά, ἡ ἰσχυρότερη ἀρμονική καθορίζει τήν στάθμη τοῦ ἤχου καί, ἡ ἴδια, ὅπως καί οἱ ἄλλες ἀρμονικές, ἐνισχύονται ἀπό τήν αὔξηση τοῦ ρυθμοῦ κλεισίματος (closing rate) τῆς γλωττίδος (Fant, 1979), συνεπάγεται ὅτι ἡ ἐνταση τοῦ ἤχου αὐξάνεται μέ τήν αὔξηση αὐτοῦ τοῦ ρυθμοῦ προσέγγισης. Ἐπειδή, ὁμως, οἱ ὑψηλότερες ἀρμονικές ἐνισχύονται περισσότερο ἀπό τίς χαμηλές (μέ μείωση τῆς κλίσης τῆς φασματικῆς περιβάλλουσας τῆς πηγαίας φωνῆς) προκύπτει ὅτι ἡ αὔξηση τοῦ ρυθμοῦ προσέγγισης τῆς γλωττίδος κάνει πιο «πρίμο» τόν φωνητικό ἤχο. Ὁ τελευταῖος εἶδαμε ὅτι σχετίζεται μέ μιά μεγάλη δύναμη προσαγωγῆς τῶν φωνητικῶν χορδῶν συνδυασμένη μέ μεγάλη ὑπογλωττιδική πίεση καί πλατειά γλωττιδική περιοχή (φώνηση ροῆς), ἐνῶ ἂν εἶναι στενή ἡ γλωττιδική περιοχή συμβαίνει τό ἀντίθετο (πεπιεσμένη φώνηση).

Τέλος εἶναι χρήσιμο νά ἀναφερθεῖ ὅτι ἡ φωνητική ὁδός (vocal tract) μπορεῖ νά ἐπιρρεάσει τήν πηγαία φωνή μέσω τῆς ἀλλαγῆς τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνότητων καί ἐπομένως τῆς «αἰσθησης» τῆς φωνῆς. Ἀκόμα, τό ἴδιο μπορεῖ νά προκαλέσουν καί φαινόμενα συντονισμοῦ μέσα στόν ὑπογλωττιδικό διάδρομο μέ τήν χαμηλότερη συχνότητα περίπου στά 600Hz γιά τούς ἐνήλικες. Ὅσον ἀφορᾷ τά φωνητικά διαγράμματα, περιγράφεται μόνο ἡ διαφορά στό πλάτος τοῦ γλωττιδογράμματος, ὅπου τό μεσαῖο καί τό ψεύτικο φωνητικό διάγραμμα ἔχουν μεγαλύτερο πλάτος ἀπό τό θωρακικό καί τυπικό ἀντίστοιχα μέ σαφέστατο ἀποτέλεσμα μιά πιο «μπάσα» φωνή λόγῳ τῆς μεγάλης θεμελιώδους ἀρμονικῆς. Ἐπίσης, μιά πιο «σκοτεινή» φωνή ἔχει μεγαλύτερο πλάτος ἐναντι μιᾶς πιο «φωτεινῆς», καθῶς καί, γιά χαμηλές ἐντάσεις καί τονικότητες τό πλάτος εἶναι μεγάλο μέ ἀντίστοιχη θεμελιώδη (Hirano et al, 1970).

3.5.2 Φωνητική ὁδός καί ἡχόχρωμα

Εἶδαμε ὅτι οἱ δύο πρῶτοι φωνοσυντονισμοί διαφοροποιοῦν τά φωνήεντα μεταξύ τους ἀνάλογα μέ τίς τιμές τῶν συχνότητων τους. Ἐπειδή ὅλοι οἱ φωνοσυντονισμοί συνεισφέρουν στό συνολικό ἡχόχρωμα τῆς φωνῆς, εἶναι φανερό ὅτι ἡ διάκριση μεταξύ τῶν φωνηέντων βασίζεται στήν ἡχοχρωματική διαφοροποίηση ἐξαιτίας τῶν διαφορετικῶν τιμῶν συχνότητων τῶν δύο πρώτων φωνοσυντονισμῶν. Αὐτό ἀφορᾷ καί τό τραγούδι καί τήν ὁμιλία ἀφοῦ ἔχουμε τήν ἴδια διάκριση μεταξύ τῶν

φωνηέντων καί στά δύο αὐτά εἶδη φωνητικῶν ἤχων. Ὄταν ὁμως πρόκειται γιά τίς διαφορές μεταξύ τραγουδιοῦ καί συνηθισμένης ὁμιλίας τότε τό τραγούδι διαφέρει ἀπό τήν ὁμιλία ὡς πρὸς τίς συχνότητες καί στάθμες ἰσχύος ὅλων τῶν φωνοσυντονισμῶν καί κυρίως ὡς πρὸς τοὺς ὑψηλῆς τάξης φωνοσυντονισμούς. Γιά τό ὀπερατικό τραγούδι ἔγινε, στά προηγούμενα, φανερή ἡ συγκέντρωση τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν μεταξύ τους (clustering) μέ ἀποτέλεσμα τό χαρακτηριστικό «τραχύ» ἡχόχρωμά του, κάτι πού δέν παρατηρεῖται στήν συνήθη ὁμιλία.

Μιά ἄλλη σημαντική διαφορά μεταξύ τραγουδιοῦ καί ὁμιλίας εἶναι ὅτι στό τραγούδι τό φᾶσμα τῆς πηγαίας φωνῆς πρέπει νά εἶναι, ὅσο τό δυνατόν, σταθερό ὡς πρὸς τίς ἀλλαγές τῆς τονικότητας καί τῆς ἔντασης τῆς φώνησης, ἐνῶ δέν ἀπαιτεῖται αὐτό στήν ὁμιλία. Ὁ λόγος πού συμβαίνει αὐτό εἶναι ἡ ἀντιληπτική ἀξίωση ἀπό τό ἀκροατήριο γιά ὁμοιογένεια στό ἡχόχρωμα τῆς φωνῆς ἀνεξάρτητα ἀπό τήν τονικότητα. Μ' ἄλλα λόγια, δέν ἔχει σημασία ἂν τραγουδάει ὑψηλές ἢ χαμηλές νότες, στό ἓνα ἢ στό ἄλλο φωνητικό διάγραμμα, μέ τόν ἓνα ἢ τόν ἄλλον τρόπο φώνησης. Ἐκεῖνο πού πρέπει νά ἔχη, εἶναι τό νά ἀκούγεται ὅτι τραγουδάει ὁ τραγουδιστής μέ ὁμοιογενές ἡχόχρωμα. Οἱ ἡχοχρωματικές ιδιότητες μιᾶς νότας-φθόγγου ἐξαρτῶνται ἀπό τίς συχνότητες τῶν ἰσχυρῶν καί ἀσθενῶν μερικῶν-ἁρμονικῶν πρᾶγμα πού εὐθέως καθορίζεται ἀπό τοὺς φωνοσυντονισμούς.

Ἡ μέγιστη ἐνίσχυση τῶν ἁρμονικῶν συμβαίνει στίς φωνοσυντονιστικές συχνότητες, ὅπως ἤδη ἔχουμε ἀναφέρει, καί ἐπίσης ἐπηρεάζεται καί ἀπό τήν πυκνότητα τῶν φωνοσυντονισμῶν. Εἶδαμε ὅτι ἂν ἡ ἀπόσταση μεταξύ δύο γειτονικῶν φωνοσυντονισμῶν ὑποδιπλασιασθῇ, τότε αὐξάνει ἡ δυνατότητα ἐκπομπῆς ἤχου κατὰ 6 dB σ' αὐτές τίς συχνότητες καί κατὰ 12 dB στήν ἐνδιάμεση περιοχή, δηλαδή ἐνισχύεται περισσότερο τό μεταξύ τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων φασματικό τμήμα. Οἱ ὑψηλότερης τάξης φωνοσυντονισμοί εἶναι ὑπεύθυνοι γιά τό φωνητικό ἡχόχρωμα - τίμπρο. Εἰδικότερα ὁ 4ος φωνοσυντονισμός εὐθύνεται γιά τό προσωπικό στοιχεῖο τοῦ ἤχου τῆς φωνῆς, σύμφωνα μέ τόν Sundberg (1987), καί ἐξαρτᾶται ἀπό τό μήκος τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ καί τίς διαστάσεις της μέσα καί γύρω ἀπό τόν λαρυγγικό σωλήνα. Μέ ἀλλαγή τῆς θέσης τοῦ λάρυγγα, γιά τοὺς ὀπερατικούς τραγουδιστές, ἐπιρρεάζονται οἱ φωνοσυντονισμοί 3ης, 4ης, καί 5ης τάξης καί μαζί τους καί τό φωνητικό ἡχόχρωμα. Τό αἶσθημα τοῦ ἡχοχρώματος εἶναι «φωτεινό» γιά ὑψωμένο λάρυγγα, καί «σκοτεινό» γιά χαμηλότερη θέση του, σύμφωνα μέ τήν ἡχοχρωματική διεύθυνση τῆς φωτεινότητας.

Μεταξύ ἀνδρῶν καί γυναικῶν, ἡ πιό σημαντική διαφορά στήν ἀντίληψη τῆς ποιότητας τῆς φωνῆς, ἐξαρτᾶται μᾶλλον ἀπό τήν συχνότητα φώνησης παρά ἀπ' τίς φωνοσυντονιστικές συχνότητες, ἐνῶ ἡ ἀνδρική ποιότητα ἐξαφανίζεται πλήρως ἐάν ὁ ὁμιλητής χρησιμοποιοῦν τό ψεύτικο διάγραμμα. Ὁ 4ος φωνοσυντονισμός εἶναι ψηλότερα στίς βαρύφωνες λυρικές τραγουδίστριες ἀπό ὅτι στοὺς ὀξύφωνους ἀνδρες (τενόρους), λόγω μεγαλύτερου μήκους τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου τῶν ἀνδρῶν. Ἔτσι γιά τήν ἴδια συχνότητα φώνησης ὑπάρχει σαφής ἡχοχρωματική διαφορά μεταξύ τῶν βαρυφώνων, πού ἔχουν «μαλακό ἢ λεῖο» ἡχόχρωμα, καί τῶν ὀξυφώνων, οἱ ὅποιοι χαρακτηρίζονται ἀπό «τραχύ ἢ ἄγριο» ἡχόχρωμα, ἀνάλογα μέ τήν ἡχοχρωματική διεύθυνση στήν ὁποία γίνεται ἡ διαφοροποίηση.

Τέλος, ἡ ἐνρινοποίηση κάποιων φωνηέντων παράγει ἓνα ἰδιαίτερο αἶσθημα τῆς φωνῆς λόγω τοῦ ἰδιαίτερου ἡχοχρώματός της. Ἐπειδὴ ὑπάρχουν διάφοροι τρόποι ἐνρινοποίησης δέν ἔχουμε πάντοτε τό ἴδιο ἡχοχρωματικό ἀποτέλεσμα. Τό φαινόμενο ἔχει μελετηθεῖ ἀκουστικά, ὅπως ἤδη ἔχουμε ἀναφερθεῖ, ἀλλά ἀπό τήν ἀποψη τῆς ἀκουστικῆς ἀντίληψής του, δέν εἶναι εὐκόλο νά ἐρευνηθεῖ ἐφ' ὅσον συναρτᾶται ἰσχυρά ἀπό γεωγραφικές καί πολιτισμικές συνιστώσες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΜΕΧΡΙ ΤΩΡΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΕΡΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΑΛΤΙΚΩΝ ΦΩΝΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Οι όπερατικές φωνές από την άποψη της μουσικολογίας χαρακτηρίζονται, όπως έχουμε αναφέρει, από την φωνητική τους έκταση και από το φωνητικό διάγραμμα. Βάσει της φωνητικής τους έκτασης οι φωνές ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες, τόσο οι ανδρικές όσο και οι γυναικείες ενώ υπάρχει μία ευρύτερη ταξινόμηση των όπερατικών φωνών, λαμβάνοντας υπ' όψιν το ήχόχρωμα της κάθε φωνής και πιο συγκεκριμένα τον ιδιαίτερο θεατρικό ρόλο που αυτή ή φωνή παίζει στην όπερα. Το φωνητικό διάγραμμα καθορίζει μία περιοχή νοτών της μουσικής κλίμακας μέσα στην οποία οι νότες ακούγονται ομοιόμορφες ως προς το ήχόχρωμα. Λόγω της μεγάλης φωνητικής έκτασης, για τις ανάγκες του λυρικού θεάτρου, των όπερατικών τραγουδιστών (περίπου $2^{1/2}$ οκτάβες) δεν είναι δυνατόν να εκφωνηθούν όλες οι νότες με το ίδιο ομοιόμορφο ήχόχρωμα και γι' αυτό χωρίζεται όλη η φωνητική έκταση σε περιοχές ομοιόμορφων νοτών δηλαδή τα φωνητικά διαγράμματα. Το ιδιαίτερο ήχόχρωμα κάθε διαγράμματος χαρακτηρίζει την φωνή και συνεισφέρει στην γενικότερη ταξινόμησή της. Οι τρεις βασικές κατηγορίες όπερατικών φωνών σχετίζονται και με ακουστικά χαρακτηριστικά όπως έχει προκύψει από την έρευνα (Cleveland, 1977, Dmitriev & Kiselev, 1979).

Η έως τώρα ταξινόμηση των ψαλτικών φωνών ακολουθούσε την όπερατική ταξινόμηση ως προς τις τρεις βασικές κατηγορίες, με βάση την φωνητική έκταση χωρίς να διακρίνει ήχοχρώματα. Όμως, θεμελιώδη ζητήματα της βυζαντινής μουσικής όπως, το ψαλτικό ύφος, ή φωνητική απόδοση των σημειογραφικών σημαδιών και των ήχων δεν μπορούν να μελετηθούν αν δεν γίνει σαφής διάκριση μεταξύ των ψαλτικών φωνών ως προς τα ήχοχρώματα. Με αυτά τα θέματα ασχολούμαστε σ' αυτήν την ενότητα.

4.2 Τά είδη των φωνών στο όπερατικό τραγούδι

4.2.1 Η βασική ταξινόμηση

Από το κεφάλαιο της ανατομίας και ακουστικής του φωνητικού οργάνου γνωρίζουμε ότι το ύψος της νότας που εκφωνείται, καθορίζεται κυρίως από το μήκος, την τάση και την ταλαντούμενη μάζα των φωνητικών χορδών, χαρακτηριστικά τα οποία ρυθμίζονται από τους κρικοθυροειδεείς και τους θυροαρταίνοειδεείς μύες κυρίως. Έπειδή είναι φανερό ότι κάθε άνθρωπος παρουσιάζει ξεχωριστές τιμές αυτών των χαρακτηριστικών συμπεραίνουμε ότι δεν μπορούν όλοι να εκφωνήσουν τις ίδιες νότες μεταξύ τους αλλά αυτές διαφέρουν τόσο ως προς την οξύτητα όσο και την ποιότητά τους. Βέβαια η ποιότητα της φωνής επιρρεάζεται και από άλλους, επί πλέον αυτών, παράγοντες, όπως ήδη έχουμε αναφέρει.

Έκτός της επίδρασης των ανατομικών χαρακτηριστικών στον έλεγχο της φωνής υπάρχουν και ιδιαίτερες «τεχνικές» της χρήσης του φωνητικού συστήματος οι οποίες επηρεάζουν τόσο την φωνητική έκταση όσο και την ποιότητα της φωνής. Μέ την βοήθεια αυτών των «τεχνικών» λέμε ότι «τοποθετείται» κατάλληλα ή φωνή για τό τραγούδι. Μ' άλλα λόγια υπάρχει στο όπερατικό τραγούδι ένα «στήσιμο» στην φωνή που δεν υπάρχει στην όμιλία. Ένα παράδειγμα μιās τέτοιας «τεχνικής» είναι ή κάθοδος του λάρυγγα για την έκφωνηση ύψηλων νοτών (Sundberg, 1974).

Στήν φωνητική μουσική, όπως διαμορφώθηκε στην Δύση, μέ τις κατάλληλες λύσεις που δόθηκαν στα προβλήματα τοποθέτησης της φωνής, στον έλεγχο της αναπνοής, στην διεύρυνση της φωνητικής έκτασης καθώς και στον έλεγχο του ήχου-χρώματός της, οι φωνές διακρίνονται σέ πολλές κατηγορίες μέ τις πιο γενικές από αυτές τις γυναικείες ή παιδικές φωνές και ανδρικές φωνές.

Στό σχήμα 4.1 όρίζονται τά είδη των φωνών βάσει της φωνητικής τους έκτασης. Στό ίδιο σχήμα όρίζεται σαφώς ή ακριβής σχέση μεταξύ της μέσης νότας La και του αριθμού οκτάβας στό πιάνο, ή οποία έχει έξ όρισμού συχνότητα 440Hz. Σύμφωνα δέ μέ την άγγλοσαξωνική παράσταση είναι ή πρώτη νότα του Αιολίου τρόπου των αρχαίων Έλλήνων : A, B, C, D, E, F, G, A' ό οποίος αντιστοιχεί στην σειρά : La, Si, Do, Re, Mi, Fa, Sol, La'. Τό γράμμα A προέρχεται από τό πρώτο γράμμα της λέξεως Αιόλιος. Έτσι ή τελική παράσταση της μέσης νότας La είναι: A₄(440) όπως καθορίσθηκε από την Ένωση Διεθνών Προτύπων (International Standards Association - ISA) σάν παγκόσμια αποδεκτό πρότυπο και λέγεται «concert A».

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1

Βασική κατηγοριοποίηση όπερατικών φωνών βάσει της φωνητικής έκτασης (64).

<u>ΑΝΔΡΙΚΕΣ ΦΩΝΕΣ</u>	<u>ΓΥΝΑΙΚΕΙΕΣ ΦΩΝΕΣ</u>
1) Βαθύφωνος (Basse Fa2 - Fa4)	1) Βαρύφωνος (Contralto Fa3 - Fa5)
2) Βαρύτονος (Baryton Sol2 - La4)	2) Μεσόφωνος (Mezzo soprano La3 - La5)
3) Όξύφωνος (Tenor Si2 - Si4)	3) Υψίφωνος (Soprano Do4 - Do6)

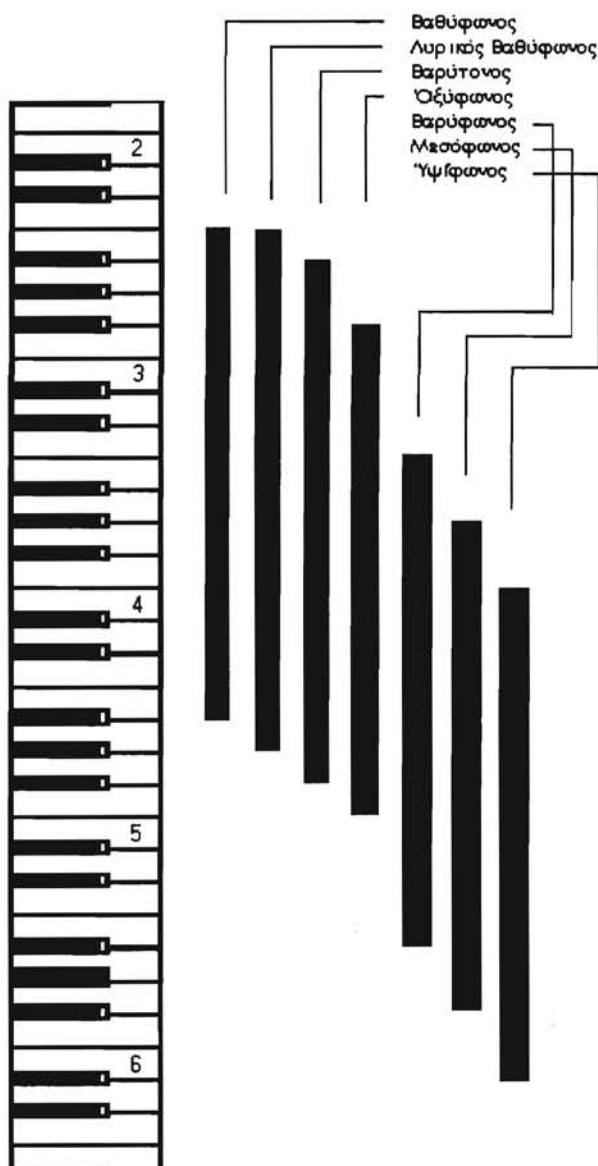
Η ανθρώπινη φωνή έχει τονικά όρια και προς τά πάνω και προς τά κάτω της άνωτέρω μουσικής κλίμακας του Αιολίου τρόπου. Στα άνωτέρω σχήματα παρουσιάζονται οι φυσιολογικές φωνητικές εκτάσεις των ειδών των φωνών, αν και, όπως είναι εύνοητο, μπορούν αυτές νά επεκτείνονται περισσότερο, σέ έξαιρετικές περιπτώσεις. Συνήθως, ή ανθρώπινη φωνή κινείται μεταξύ 80Hz και 1100Hz.

Οι γενικές κατηγορίες των όπερατικών φωνών στίς οποίες αυτές διακρίνονται παριστάνονται στον πίνακα 4.1.

Οι άνωτέρω φωνητικές κατηγορίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τό κέντρο της φωνητικής τους έκτασης, όπως εύκολα προκύπτει από τις κατακόρυφες ράβδους του σχήματος 4.1 ενώ τά μήκη τους φαίνονται περίπου ίσα μεταξύ των. Η φωνητική έκταση λοιπόν ενός επαγγελματία όπερατικού τραγουδιστή είναι περίπου 2 οκτάβες.

Περαιτέρω διάκριση μεταξύ των όπερατικών φωνών μπορεί νά υπάρξει πάνω στή βάση ύποκειμενικών κριτηρίων αλλά και αντικειμενικών επίσης. Έτσι ανάλογα μέ τον χαρακτήρα της φωνής (κάτι που μάλλον περιγράφεται μέ τον όρο ήχόχρωμα) έχουμε την κατωτέρω ταξινόμηση του πίνακα 4.2.

BYZANTINA	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	NOTES
ΜΟΡΙΑ	Hz	
-36	61.74	Si1
-30	65.41	Do2
-18	73.42	Re2
-6	82.41	Mi2
0	87.31	Fa2
12	98.00	Sol2
24	110.00	La2
36	123.47	Si2
42	130.82	Do3
54	146.84	Re3
66	164.82	Mi3
72	174.62	Fa3
84	196.00	Sol3
96	220.01	La3
108	246.95	Si3
114	261.63	Do4
126	293.67	Re4
138	329.64	Mi4
144	349.24	Fa4
156	392.01	Sol4
168	440.01	La4
180	493.90	Si4
186	523.27	Do5
198	587.35	Re5
210	659.28	Mi5
216	698.48	Fa5
228	784.02	Sol5
240	880.03	La5
252	987.80	Si5
258	1046.54	Do6
270	1174.70	Re6
282	1318.55	Mi6
288	1396.96	Fa6



Σχήμα 4.1 Η φωνητική γενική ταξινόμηση των φωνών ανάλογα με την φωνητική τους έκταση (pitch range). Στο αριστερό μέρος παριστάνονται σε πίνακα οι αντίστοιχες συχνότητες των τόνων και οι διεθνείς συμβολισμοί τους παράλληλα με τα Βυζαντινά μόρια της κλίμακος, θεωρώντας σαν χαμηλότερη την νότα Fa2 (0 μόρια). Οι ράβδοι στο δεξιό μέρος δείχνουν το βασικό φωνητικό εύρος κάθε φωνητικής κατηγορίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

Μιά ταξινομήση όπερατικών φωνών βάσει του θεατρικού ρόλου που καλούνται νά παίξουν στην Όπερα (Εύσταθιανού, 1925).

<u>ΑΝΔΡΙΚΕΣ ΦΩΝΕΣ</u>	<u>ΓΥΝΑΙΚΕΙΕΣ ΦΩΝΕΣ</u>
1) Υπόφωνος (La1)	1) Βαρύφωνος (Contralto ή Alto)
2) Κάτω Βαθύφωνος (Basse grave, Basse taile, Basse profonde, Basse noble)	2) Υψίφωνος (Soprano aigue)
3) Άνω ή Λυρικός Βαθύφωνος (Basse chantante, Basse d'opera comique)	3) Δραματική Υψίφωνος (Soprano dramatique)
4) Κάτω Βαρύτονος ή Βαρύτονος του Donizetti	4) Ισχυρά Υψίφωνος (Forte Chanteuse)
5) Άνω Βαρύτονος ή Βαρύτονος του Verdi (Baryton tenorisant)	5) Μεσόφωνος (Mezzo)
6) Όξύφωνος ελαφρᾶς όπερας (Opera comique)	α) Ημιβαρύφωνος (Stolz ή Viardot)
7) Όξύφωνος όπερας η Πρῶτος Όξύφωνος ή Λυρικός Όξύφωνος (Tenor d'Opera, premier Tenor, de traduction, demi caractere, Tenor lyrique)	β) Ημιυψίφωνος
8) Όξύφωνος ισχυρός (fort Tenor ή Tenor dramatique)	

Στόν πίνακα 4.2, γιά τήν κατηγοριοποίηση λαμβάνεται ύπ' όψιν καί τό ιδιαίτερο φωνητικό ήχόχρωμα του τραγουδιστή προκειμένου νά επιλεγεί γιά τόν κατάλληλο θεατρικό ρόλο, όπως φαίνεται καί από τό όνομα τής κατηγορίας του. Χωρίς νά αναφερθοῦμε σέ λεπτομέρειες, παρά τό ότι ή άνωτέρω ταξινομήση προέρχεται από ένα παλιό βιβλίο του Άλεξάνδρου Εύσταθιανού ('Η φωνή διά άσμα καί λαλιάν, 1925), αὐτή δέν διαφέρει σημαντικά από σύγχρονες ταξινομήσεις παρά τήν προσθήκη καί άκουστικών στοιχείων (Πίνακας 4.3). Τά βασικά χαρακτηριστικά γιά κάθε ταξινομήση είναι ή έκταση τής φωνῆς καί τό ιδιαίτερο ήχόχρωμα κάθε φωνητικής κατηγορίας.

4.2.2 Περάσματα (passaggi) τών φωνητικών διαγραμμάτων

Ήδη αναφερθήκαμε στην όρο φωνητικό διάγραμμα. Έξετάσαμε τήν σχέση του μέ τήν φώνηση καί περιγράψαμε μιά κατά προσέγγιση αντίστοιχία μεταξύ του διαγράμματος καί του είδους τής φώνησης. Συμπερασματικά, από τήν άποψη τής φυσιολογίας τών φωνητικών χορδών, θά λέγαμε ότι καθώς μεταβαίνουμε από ένα χαμηλό διάγραμμα σέ ένα υψηλότερο οί αρχικά ενεργοί θυρεοαρυταινοειδείς μύες άπενεργοποιούνται βαθμιαία ενώ ενεργοποιούνται όλοένα καί περισσότερο οί κρικοθυρεοειδείς μύες (Sundberg, 1987, Titze, 1994). 'Ο βαθμός άκαμψίας τών φωνητικών χορδών επίσης παίζει ένα ρόλο στην άλλαγή του διαγράμματος εξαρτώμενος από τόν άνταγωνισμό μεταξύ τών φωνητικών συνδέσμων, τών φωνητικών μυών καί τών κρικοθυρεοειδών.

Πρακτικά, τά φωνητικά διαγράμματα καθορίζονται από τά «περάσματα (passaggi) τής φωνῆς τά όποια επίσης καθορίζονται έμπειρικά ως εξής:

Όταν ο όμιλητής, καθώς ανεβάζει συνεχώς την τονικότητα (pitch) τραγουδώντας σέ υψηλότερες νότες από αυτές της καθημερινής όμιλίας, φτάσει στο πρώτο πέρασμα, τότε αρχίζει νά χρησιμοποιεί τήν «φωναχτή» φωνή του. Αυτό τό πετυχαίνει αυξάνοντας τόν ρυθμό ροής άέρα καί τήν υπογλωττιδική πίεση καθώς καί τήν στάθμη έντασης, όπως ήδη έχουμε αναφέρει προηγουμένως.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3

Κάποιες φωνητικές κατηγορίες ανάλογα μέ τήν εξειδίκευση του θεατρικού ρόλου που έχουν αποκτήσει (Titze, 1994).

<i>Buffo</i>	Κωμική φωνή
<i>Coloratura (primarily soprano)</i>	Ευκίνητη φωνή για πολύ υψηλές νότες
<i>Contra (alto)</i>	Εξαιρετικά χαμηλή φωνή
<i>Counter (tenor)</i>	Υψηλή ανδρική φωνή μέ φαλσέττο
<i>Dramatic</i>	Δυνατή φωνή για δραματικούς ρόλους
<i>Flageolet (soprano)</i>	Υψηλή, λεπτή σαν ήχος φλάουτου
<i>Helden (tenor)</i>	Ηρωική, λαμπρή, ισχυρή φωνή
<i>Lyric</i>	Λυρική μελωδική φωνή
<i>Profundo (basso)</i>	Εξαιρετικά χαμηλή φωνή
<i>Robusto</i>	Ρωμαλέα φωνή για όπερα Verdi
<i>Soubrette (soprano)</i>	Ελαφρά φωνή παιχιδιάρικη
<i>Spinto (primarily soprano & tenor)</i>	Ελαφρά προωθημένη φωνή λόγω ηλικίας

Μπορεϊ νά συνεχίσει περαιτέρω τήν άνοδο του τονικού ύψους, μόνο που τώρα πρέπει νά «οὐρλιάξει» για νά τραγουδήσει τόσο υψηλές νότες. Αυτό τό σημείο είναι τό δεύτερο πέρασμα πέρα από τό όποιο ο όμιλητής δέν μπορεϊ νά «φωνάξει» χωρίς νά υπάρξει κάπως ένα «σπάσιμο» στην φωνή του. Αυτό τό δεύτερο πέρασμα σχηματίζει περίπου ένα τέλειο μουσικό διάστημα τετάρτης (μέ λόγο συχνότητων 4:3) μέ τήν συχνότητα του πρώτου περάσματος.

Τό ξεπέρασμα του δεύτερου περάσματος στους επαγγελματίες όπερατικούς τραγουδιστές γίνεται είτε καταφεύγοντας στο ψεύτικο διάγραμμα (ψεύτικη φωνή) είτε χρησιμοποιώντας τήν τεχνική της κεφαλικής φωνής. Η περιοχή ανάμεσα στα δύο περάσματα λέγεται περιοχή περάσματος (*zona di passaggio*).

Η φωνή, όταν βρίσκεται σ' αυτήν τήν ζώνη περάσματος καί πρόκειται νά μετατραπεϊ σέ κεφαλική λέγεται «μεικτή» φωνή (*mixed voice - voix mixte*) (Miller R., 1993).

Οι νότες στίς όποίες αντιστοιχοῦν τά φωνητικά περάσματα εξαρτώνται αλλά καί επιρρεάζουν τόν καθορισμό της φωνητικής κατηγορίας που ανήκει ο τραγουδιστής. Για παράδειγμα, ο Λυρικός Όξύφωνος έχει φωνητικά περάσματα στίς νότες D4(Re4) καί G4(Sol4) σύμφωνα μέ τόν συμβολισμό ISA, ενώ ο Βαρύτονος έχει περάσματα στίς νότες B3(Si3) καί E4(Mi4) (Miller, 1993).

Αύξημένη δραστηριότητα των θυρεοαρυταινοειδών σχετίζεται μέ τήν θωρακική φωνή ενώ αύξημένη κρικοθυρεοειδική λειτουργία συνδέεται μέ τήν κεφαλική φωνή, όπως μπορεϊ κανείς νά συμπεράνει μελετώντας τό πρώτο κεφάλαιο. Αυτές οι δύο φωνές μπορούμε νά πούμε ότι είναι τά δύο μεγάλα φωνητικά διαγράμματα, παρ' όλο που έχουμε αναφέρει αρκετά από αυτά.

Έπειδή μεταξύ θωρακικής και κεφαλικής φωνής οι ουσιαστικότερες διαφορές είναι η τονικότητα και το χρώμα, έφ' όσον η πρώτη αναφέρεται κυρίως σέ χαμηλούς τόνους ενώ η δεύτερη σέ υψηλούς, γι' αυτό ο τρόπος ταλάντωσης των φωνητικών χορδών είναι διαφορετικός γιά αυτούς τούς δύο τρόπους του τραγουδιού. Πιο συγκεκριμένα όταν η συχνότητα φωνήσεως είναι χαμηλή, τό γλωττιδικό κλείσιμο αρχίζει από τό χαμηλότερο τμήμα των φωνητικών χορδών που είναι κοντές, παχείς και χαλαρές, και μετατοπίζεται σιγά - σιγά πρós τά πάνω, δημιουργώντας κύματα στην ανώτερη επιφάνειά τους, τά όποια ταξιδεύουν αντίθετα από τά πλευρά του θυρεοειδούς χόνδρου. Όταν η συχνότητα φώνησης είναι ύψηλή δέν παρατηρείται κανένα γλωττιδικό κύμα και φαίνονται νά κλείνουν ταυτόχρονα καθ' όλο τό βάθος της γλωττιδικής σχισμής οι, τώρα πιά, λεπτές, μακρές και τεταμένες φωνητικές χορδές (Sundberg, 1987).

4.2.3 Άκουστικά χαρακτηριστικά των όπερατικών φωνών

Η ταξινόμηση των όπερατικών φωνών έχει βρεθεί ότι σχετίζεται άμεσα μέ τά άκουστικά χαρακτηριστικά τους. Γι' αυτό θά αναφερθούμε στίς σημαντικότερες μελέτες που έχουν γίνει σ' αυτό τό θέμα.

Ο Cleveland (1977) μελέτησε τίς φωνοσυντονιστικές συχνότητες διαφόρων κατηγοριών επαγγελματιών λυρικών τραγουδιστών, βάσει επιτροπής δασκάλων του τραγουδιού, και βρήκε ότι οι μέσοι όροι των 4 χαμηλοτέρων φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων, γιά τά 5 φωνήεντα, συσχετίζονταν μέ την ταξινόμηση των φωνών τους, έτσι ώστε, εκείνοι μέ τίς χαμηλές τιμές νά είναι βαθύφωνοι (μπάσσοι) ενώ εκείνοι μέ τίς ύψηλές τιμές νά είναι όξύφωνοι (τενόροι). Έπειδή οι κατηγορίες αυτές των Ευρωπαϊκών φωνών σχετίζονται άμεσα μέ την τονικότητα (pitch), δηλαδή μέ την κεντρική συχνότητα της συχνοτικής περιοχής φώνησής τους, φαίνεται ότι όσο ύψηλότερα είναι η κεντρική συχνότητα τόσο ύψηλότερες είναι οι μέσες φορμαντικές συχνότητες. Μπορεί όμως νά μήν ταιριάζουν οι φωνοσυντονιστικές συχνότητες μέ την κεντρική συχνότητα της όλης φωνητικής έκτασης γιά έναν συγκεκριμένο τραγουδιστή, αλλά αυτό δέν είναι ο κανόνας.

Οι Dmitriev & Kiselev (1979) εξέτασαν 20 επαγγελματίες όπερατικούς τραγουδιστές μέ μέτρο σύγκρισης τά φάσματα μεγάλου μέσου όρου (LTAS) (δηλ. φάσματα από μεγάλο χρονικής διάρκειας φωνητικό σήμα), τά όποια φανερώνουν την κατανομή της μέσης ήχητικής ενεργείας σάν συνάρτηση της συχνότητας, όπως περιγράψαμε πιο πάνω. Έπειδή τά LTAS έμφανίζουν δύο, χοντρικά, κορυφές, μία στίς χαμηλές συχνότητες (500Hz) και μία στίς ύψηλές άρμονικές (2 - 3kHz), κατέταξαν τίς φωνές τους μέ γνώμονα τίς θέσεις των κορυφών αυτών, καθώς και τό μήκος του φωνητικού συστήματος του φωνητικού όργάνου, τό όποιο μετρούσαν μέ πλευρικές εικόνες ακτίνων Χ. Βρήκαν λοιπόν ότι οι βαρύτονοι έχουν τίς χαμηλότερες θέσεις κορυφών και τό μεγαλύτερο μήκος φωνητικού συστήματος, ενώ οι ύψίφωνες (σοπράνο) έχουν τίς ύψηλότερες θέσεις και τό μικρότερο μήκος φωνητικού συστήματος. Έτσι συμπεραίνεται ότι η ανατομική κατασκευή του φωνητικού συστήματος είναι καθοριστική γιά την κατηγορία που ανήκει μία συγκεκριμένη φωνή.

Γιά όπερατικές φωνές, τό χαμήλωμα του λάρυγγα σχετίζεται μέ διεύρυνση των δύο λαρυγγικών κοιλιών, και ιδιαίτερα τό κάτω μέρος της φωνητικής όδοϋ, που περιβάλλει τον λαρυγγικό σωλήνα, τούς άπιοειδείς κόλπους (Sundberg, 1970). Αν η διατομή του φάρυγγα, στο επίπεδο της εισόδου του λαρυγγικού σωλήνα, είναι 6 φορές μεγαλύτερη απ' την διατομή αυτής της εισόδου, συμβαίνει ιδιαίτερος

συντονισμός στά ήχητικά κύματα μέσα στον φάρυγγα με ακουστικό αποτέλεσμα την συγκέντρωση των υψηλών φωνοσυντονισμών και τον σχηματισμό του φωνοσυντονισμού του τραγουδιστή (ΦΤ) (Sundberg, 1974, Childers et al., 1983). Σέ άλλες μορφές τέχνης, όμως, μπορεί να υπάρξει ένας ΦΤ χωρίς να έχει προηγηθεί αυτή η διαδικασία.

4.3 Η έως τώρα ταξινόμηση των φωνών στην ψαλμωδία

4.3.1 Προηγούμενες απόψεις

Σύμφωνα με την άποψη του αιμνήστου διδασκάλου Σίμωνος Καρά, την οποία αναφέρει στον πρώτο τόμο του Θεωρητικού του, «ως έλεγον οί παλαιοί, ή ανθρωπίνη φωνή καταλαμβάνει συνήθως έκτασιν τριῶν τόπων φωνῆς». Κάθε τόπος φωνῆς λογίζεται περίπου ή έκταση μιᾶς διαπασῶν, πράγμα τό όποιο υποδηλώνει την συνήθη συχνοτική περιοχή έντός τῆς οποίας κινεῖται ένα Βυζαντινό μουσικό μέλος. Διακρίνονται τρεῖς κυρίως τόποι φωνῆς:

1. Ο βαρύς, ό όποιος προσιδιάζει στίς φωνές των βαθύφωνων ανδρῶν καί περιλαμβάνει τούς μουσικούς φθόγγους από τόν κάτω ζ^{\flat} μέχρι τόν κάτω κ^{\flat} (φυσική κλίμακα) :

ζ^{\flat} δ^{\flat} π^{\flat} β^{\flat} γ^{\flat} δ^{\flat} κ^{\flat}

Έδῶ οί μουσικοί φθόγγοι συμβολίζονται μέ τίς μαρτυρίες τους, δηλαδή, σύμφωνα μέ την Βυζαντινή σημειογραφία αποτελούμενες από τά γράμματα του Έλληνικού αλφαβήτου καθώς καί από τά μαρτυρικά σημάδια. Τά μαρτυρικά σημάδια τοποθετοῦνται πάνω από τά γράμματα.

2. Ο μέσος, ό όποιος ταιριάζει στίς συνηθισμένες ανδρικές φωνές καθώς καί στίς βαρύτερες γυναικεῖες φωνές από του μέσου ζ^{\natural} μέχρι του μέσου κ^{\natural} καί συμβολίζονται μέ μαρτυρίες όπου τά γράμματα τοποθετοῦνται πάνω από τά μαρτυρικά σημάδια, ως έξῆς :

ζ^{\natural} δ^{\natural} π^{\natural} β^{\natural} γ^{\natural} δ^{\natural} κ^{\natural}

καί

3. Ο όξύς, τόπος τῆς φωνῆς τόν όποιο χρησιμοποιοῦν οί όξύφωνοι άνδρες καθώς καί οί συνήθεις γυναικεῖες φωνές από του άνω ζ^{\sharp} μέχρι τόν άνω κ^{\sharp} οί μαρτυρίες παίρνουν έναν τόνο καί συγκεκριμένα μιᾶ όξεῖα, όπως λέγεται, τόσο στην Βυζαντινή μουσική γλῶσσα όσο καί στην πολυτονική γραφή τῆς ελληνικῆς γλώσσας υποδεικνύοντας την μουσική ενέργεια του σημαδιου :

ζ' ν' π' θ' γ' Δ' κ'
 ζ ν π θ γ Δ κ

Τελευταία, αξίζει νά αναφέρουμε καί τόν *ὕπερ ὀξύν* τρόπο τῆς φωνῆς πού συνδέεται μέ τήν πολύ ὑψηλή γυναικεία φωνή καθώς ἐπίσης καί μέ τίς παιδικές φωνές. Γιά διάκριση ἀπό τήν ὀξεῖα περίπτωση φωνῶν τά μαρτυρικά σημάδια παίρνουν διπλῇ ὀξεῖα :

ζ'' ν'' π'' θ'' γ'' Δ'' κ''
 ζ ν π θ γ Δ κ

Παράλληλα μέ τήν ἀνωτέρω διάκριση τῶν φωνῶν βάσει τῆς φωνητικῆς περιοχῆς, ὑπάρχει καί ἡ ταξινόμηση πού ἀναφέρεται στό βιβλίο τοῦ Ἀβραάμ Εὐθυμιάδη Μαθήματα Βυζαντινῆς Μουσικῆς, (Θεσσαλονίκη 1972) ἡ ὁποία γίνεται ἀνάλογα μέ τήν εὐρωπαϊκῇ κατηγοριοποίηση πού ἀναφέραμε ἤδη. Στό ἴδιο βιβλίο ἀναφέρεται καί ἡ διάκριση τῆς φωνῆς σέ *στηθική* καί *κεφαλική*, ὅροι ἐπίσης γνωστοί ἀπό τήν ἔννοια τοῦ φωνητικοῦ διαγράμματος πού ἀναφέραμε προηγουμένως. Στόν ἴδιο ψάλτη μπορεῖ νά συνυπάρχουν καί τά δύο αὐτά εἶδη φωνῆς ἀρκεῖ νά γνωρίζει τήν χρήση τους καί νά ἔχει τήν φωνητική ἐμπειρία αὐτῶν.

Αὐτά τά δύο εἶδη φωνητικῆς τοποθέτησης διακρίνονται τόσο ὡς πρὸς τήν φωνητική ἔκταση κάθε εἶδους ὅσο καί ὡς πρὸς τήν διαφοροποίηση τοῦ ἡχοχρώματος πού παράγουν. Παρ' ὅλα αὐτά, δέν προκύπτει ἀπό προηγούμενους θεωρητικούς συγγραφεῖς βυζαντινομουσικολόγους κανένα συμπέρασμα γιά τυχόν διαφοροποίηση μεταξύ τῶν «βυζαντινῶν» φωνητικῶν ἡχοχρωμάτων, τά ὁποῖα ἀπό τώρα καί στό ἐξῆς θά ἀναφέρουμε μέ τόν ὅρο «ψαλτικά» γιά διάκριση ἀπό ὅποι-οδήποτε ἄλλο μουσικό φωνητικό εἶδος «βυζαντινῆς» προέλευσης.

4.3.2 Ταξινόμηση καί ψαλτικό ὕφος

Ἡ ταξινόμηση τῶν ψαλτικῶν φωνῶν πῶς σχετίζεται μέ τόν εὐρέως χρησιμοποιούμενο ἀπό τοὺς ἱεροψάλτες ὅρο «ὕφος»; Ἄν καί ἀπάντηση δέν ἔχει δοθεῖ μέχρι σήμερα, ὅμως, ἀπό ἀρκετά μουσικολογικά κείμενα τῆς ἐκκλησιαστικῆς μουσικῆς συνεπάγεται μιά τέτοια σχέση. Θά ἐπιχειρήσουμε νά διευκρινίσουμε αὐτήν τήν σχέση στή συνέχεια, ἀφοῦ περιγράψουμε ὅμως πρῶτα τόν ὅρο «ὕφος».

Ὅταν τό ἴδιο μουσικό κείμενο ἀποδοθεῖ ἀπό διάφορους ἱεροψάλτες θά ἐρμηνευθεῖ μέ διαφορετικούς τρόπους, δηλαδή θά ἔχουμε διαφορετικό ἀκουστικό ἀποτέλεσμα. Γιά κάποια λοιπόν τέτοια ἀκουστικά ἀποτελέσματα, ὑπάρχει ἡ αἴσθηση τῶν ἐξασκημένων ἀκροατῶν ὅτι μοιάζουν μεταξύ τους, ἐνῶ γιά ἄλλα ὄχι. Λέμε λοιπόν ὅτι αὐτά τά μουσικά ἀκούσματα πού μοιάζουν, ἀποτελοῦν ἡ ἀνήκουν σέ ἓνα ὕφος (*style*), ἐνῶ τά ἄλλα τά διαφορετικά ὑπάγονται σέ ἄλλα ὕφη. Τό ὕφος δέν εἶναι σαφῶς καθορισμένο σάν ἔννοια, καί τό ἴδιο, προκειμένου νά περιγραφῇ, πρέπει πρῶτα νά ἀναλυθεῖ ὥστε νά προσδιορισθοῦν τά συστατικά του γνωρίσματα. Τό ὕφος, παρόλο πού εἶναι μιά αἴσθηση, δηλαδή μιά «ιδέα» ἀκούσματος μέ σαφῇ ὑποκειμενικά χαρακτηριστικά, πιστεύουμε ὅτι ἔχει καί συγκεκριμένα ἀντικειμενικά χαρακτηριστικά ἄρα μετρήσιμα. Ἐνα ἀπό αὐτά τά χαρακτηριστικά εἶναι τό «χονδρικό» φωνητικό ἡχοχρῶμα τό ὁποῖο ἔχουμε σάν

αίσθηση όταν ακούμε συνεχώς την ίδια φωνή να ψάλλει, κινούμενη διά μέσου φθόγων - νοτών της μεσαιάς φωνητικής περιοχής, και χωρίς να «βιάζεται» ή φωνή (βασικό ήχόχρωμα).

Προσπαθώντας να δώσουμε έναν όρισμό θα βασισθούμε σε κείμενα δύο γνωστών μουσικοδιδασκάλων οι οποίοι ασχολήθηκαν με τό ψαλτικό ύφος. Λέγοντας «ψαλτικό ύφος» εννοούμε «...τόν ξεχωριστό τρόπο της μουσικής έκφρασεως με ουσιώδη χαρακτήρα τόν βαθμό της πιστότητας πού μ' αυτή διερμηνεύονται οί σκέψεις και τά συναισθήματα του συνθέτου» (Άβραάμ Εύθυμιάδης, 1972), ή «...τόν όμοιόμορφο τρόπο του ψάλλειν κατά τόν ρυθμόν και τήν έννοιαν αλλά και τήν φωνητικήν παράδοσιν και έρμηνεία του μέλους με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ήχόχρωμα πού άποτελεϊ τό διακριτικό του στοιχείο» (Γεώργιος Τσατσαρώνης, 1971).

Παρατηρούμε ότι ό μέν πρῶτος άναφέρεται γενικότερα στό ύφος σάν μέσο μουσικής έκφρασης, ή όποία, έννοεΐται ότι περιέχει τό στοιχείο του ήχοχρώματος, ό δέ δεύτερος άναφέρεται άμεσα στό ύφος σάν ήχόχρωμα. Έπειδή, λοιπόν, τό ήχόχρωμα της φωνής είναι βασικό στοιχείο της φωνητικής ταξινόμησης στην όπερα είναι φανερό ότι θα μπορούσε να ύπάρξει μία άνάλογη ταξινόμηση ψαλτικών φωνών με αυτό τό βασικό στοιχείο του ύφους. Ό αντίλογος πού θα μπορούσε να είπωθεϊ έδῶ είναι ότι, πιθανόν, κι άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία του ύφους θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για μία πιθανή φωνητική ταξινόμηση. Άν και δέν άποκλείεται ή ένσωμάτωση κι άλλων στοιχείων του ύφους ως επί πλέον κριτηρίων ταξινόμησης όμως τό βασικό «ύπόστρωμα» του ύφους είναι τό ήχόχρωμα της φωνής τό όποιο άποτελεϊ και τήν πρώτη «αίσθηση» του άκροατή.

Η άνάγκη περιγραφής του ύφους, δηλαδή της εύρεσης των άντικειμενικών του χαρακτηριστικών, είναι ένα άλλο ουσιώδες ζήτημα της φωνητικής ιεροψαλτικής παράδοσης έπειδή μπορεί να μάς όδηγήσει στον καθορισμό του λεγόμενου γνήσιου ψαλτικού ύφους. Άν και ό όρος «γνήσιο» όδηγεϊ σε δεοντολογική θεώρηση του πράγματος, νομίζω ότι χρειάζεται να προσδιορισθούν με έπιστημονικούς όρους κανόνες «ιεροπρεποϋς» ψαλμώδησης προσδιορισμένοι από τήν Όρθόδοξη Έκκλησία σάν τέτοιοι.

Τό ζήτημα του «γνήσιου» ύφους πού συνεχώς άλλοιώνεται λόγω της άλλαγής των αισθητικών αντίληψεων άνάλογα με τήν έποχή είναι και άντικείμενο της φωνητικής τέχνης. Τό «γνήσιο» ιεροψαλτικό ύφος είναι ζήτημα μάλλον των βυζαντινομουσικολόγων και ίσως και των θεολόγων αλλά ή άνακάλυψη των στοιχείων τά όποια τό άπαρτίζουν μπορεί να γίνει μόνο με τήν προσεκτική άκουστική άνάλυση των φωνητικών μουσικών ήχων. Η θεώρηση των διαφόρων ύφών, τά όποια έχουν δημιουργηθεϊ κατά καιρούς και σε διαφόρους τόπους του εύρύτερου ελληνικού πολιτισμικού χώρου, μάς όδηγεϊ στό συμπέρασμα ότι διάφορες έπιρροές άλλαξαν και συνεχίζουν να άλλάζουν τό ύφος σχηματίζοντας τίς λεγόμενες «σχολές» με ιδιόζουσα φωνητική παράδοση ή κάθε μία.

Τέλος, σύμφωνα με κάποιους συγγραφείς «τό ύφος της έρμηνείας έμμεσα ύπαγορεύεται από τήν ποιότητα και τό πλήθος των στοιχείων της σηματοφωνίας της» (Φίλιππος Οικονόμου, 1992). Αυτό σημαίνει ότι ένῶ ή προφορική ψαλτική παράδοση έχει τήν βασική ευθύνη για τήν διαιώνιση του ύφους, σημαντικό έπίσης ρόλο παίζει και ή βυζαντινή μουσική σημειογραφία δηλαδή ό τρόπος καταγραφής της φωνητικής μουσικής. Γι' αυτόν τόν λόγο, μία μολονότι σύντομη, όμως περιεκτική άναφορά στην σημειογραφία και τήν σχέση της με τήν φωνητική άπόδοση των σημαδιών θα ήταν χρήσιμη.

4.3.3 Μουσική σημειογραφία καί φωνητική απόδοση

Τό φωνητικό ήχόχρωμα είναι ένα μουσικό χαρακτηριστικό, γιά τό όποιο καταβλήθηκε προσπάθεια νά αποτυπωθεῖ διά μέσου τῆς μουσικῆς γραφῆς μέ ἕμμεσο τρόπο. Αυτό σημαίνει ὅτι διάφορες «ιδιόμορφες» μελωδίες, παρόλο πού δέν ἦταν δυνατό νά περιγραφοῦν μέ ἀκρίβεια, ὅμως μέ κατάλληλους συνδυασμούς μουσικῶν σημαδιῶν μπορούσε νά βοηθηθεῖ ἡ μνήμη νά αποδώσει μουσικά τήν μελωδία. Ἔτσι εἶναι ἀπαραίτητο νά δοῦμε σύντομα τήν ἱστορική ἐξέλιξη τῆς μουσικῆς σημειογραφίας καί νά ἐξετάσουμε τήν σχέση της μέ τό ήχόχρωμα (φωνητική απόδοση).

Ἡ Βυζαντινὴ μουσικὴ μέσα στήν ἱστορία προέρχεται ἀπό τοὺς ἀρχαίους χρόνους (Ἀποστόλου Βαλινδρᾶ, 1980 - Γεωργίου Παπαδοπούλου, 1904) καί σχετίζεται ἄμεσα μέ τήν Ἀρχαία Ἑλληνική μουσική, ἀπό τήν ὁποία ἔχει προσλάβει τίς μουσικές κλίμακες καί τὰ ρυθμικά σχήματα (Σίμωνος Καρᾶ, 1982), καί πιθανόν, καί τόν τρόπο τῆς μελωδικῆς γραμμῆς ὡς ἓνα βαθμό.

Διακρίνουμε ἔτσι μιά πρώτη περίοδο τῆς Βυζαντινῆς μουσικῆς ὅπου ὑπάρχει κυρίως προφορική παράδοση καί μέ πιθανή ἐπίδραση τοῦ ἀρχαιοελληνικοῦ τρόπου μελωδίας, ὅπως φαίνεται ἀπό τόν πάπυρο τῆς Ὁξυρύγχου πού εἶναι γραμμένος στήν ἀρχαία ἑλληνική ἀλφαβητική σημειογραφία. Ἡ περίοδος αὕτη κρατᾶ μέχρι τήν ἰδρυση τῆς Κωνσταντίνου-πόλεως τόν 3ο μ.χ. αἰῶνα.

Μιά δεύτερη περίοδος ἀκολουθεῖ μέχρι τόν 12ο αἰῶνα, κατά τήν ὁποία συντίθενται καινούργιοι ὕμνοι ὡς πρὸς τήν δομή καί τό περιεχόμενο, καί δημιουργεῖται ἡ Ὁκτώηχος, ἔργο πού ἀποδίδεται στόν ἅγιο Ἰωάννη τόν Δαμασκηνό (ἀρχές 8ου αἰῶνα). Ἡ Ὁκτώηχος ἢ Παρακλητικὴ περιέχει μουσικά σημάδια, τὰ λεγόμενα ἀγκιστροειδῆ, τὰ ὁποία συνυπάρχουν μέ σύμβολα τοῦ ἑλληνικοῦ ἀλφαβήτου, ὅπως: κόμμα, βαρεῖα καί περισπωμένη. Παρ' ὅλη τήν ἀνυπαρξία μουσικῶν χειρογράφων πρὸ τοῦ 1' αἰῶνος, πρᾶγμα πού ἔχει ἀποδοθεῖ στήν συστηματικὴ καταστροφή των, κατά τήν περίοδο τῆς εἰκονομαχίας, αὐτό τό σημειογραφικὸ σύστημα ἀρχίζει νά δημιουργεῖται σάν σύστημα, καί ὄχι σάν σύμβολα, ἀπό τόν ἅγιο Ἰωάννη τόν Δαμασκηνό καί εἶναι στενογραφικόν. Μέ τόν ὅρο στενογραφικόν μουσικόν σύστημα ἐννοοῦμε ἓναν εὐφυῆ τρόπο περιγραφῆς τῶν μελωδιῶν μέ ὅσο τό δυνατόν λιγότερα μουσικά σημάδια.

Τό σύστημα αὐτό ἐξελίσσεται κατά τήν ἐπόμενη περίοδο δηλαδή ἀπό τόν 12ο αἰῶνα (1175 περίπου) μέχρι τό 1670 (Στάθης Γρ., 1979), οὐσιαστικά μὴ ἐπιρρεαζόμενο ἀπὸ τό γεγονός τῆς ἄλωσης τῆς Πόλης (Ἀμαργιανᾶκης, Γ., 1994-95), στό ὁποῖο καί προστίθενται τὰ σημάδια τῶν μεγάλων ὑποστάσεων, τὰ ὁποία περιγράφουν τίς λεγόμενες χειρονομίες τοῦ κορυφαίου τοῦ χοροῦ ψαλτῶν καί τῶν ὁποίων τό σχῆμα ὑποδηλώνει συγκεκριμένη μελικὴ κίνηση σχετιζόμενη μέ τήν μορφή τοῦ σημαδιοῦ.

Ἡ προτελευταία περίοδος ἀρχίζει ἀπὸ τό 1670 καί φθάνει μέχρι τό 1814 διακρινόμενη ἀπὸ τήν διαφορετικὴ σύνθεση τῶν σημαδιῶν μεταξύ τους καθὼς καί γιά τήν ὁλοένα αὐξανόμενη τάση γιά ἀναλυτικότερη μουσικὴ γραφή ἐνῶ ἡ τελευταία περίοδος ἀρχίζει μέ τήν σημειογραφικὴ μεταρρύθμιση ἀπὸ τοὺς τρεῖς δασκάλους, δηλαδή, τόν Χρύσανθο ἐκ Μαδύτων, τόν Γρηγόριο Πρωτοψάλτη καί τόν Χουρμούζιο Χαρτοφύλακα τό 1814, σύστημα τό ὁποῖο καί ἐμεῖς σήμερα χρησιμοποιοῦμε.

Ἔτσι ἡ μουσικὴ τῶν ὕμνων κληροδοτεῖται κυρίως διά μέσου τῆς προφορικῆς παράδοσης ἐφ' ὅσον ὁ ψάλτης πρέπει νά θυμᾶται ὁλόκληρη τήν μελωδικὴ σειρά φθόγγων τήν ὁποία ὑποδηλώνει μιά πολὺ μικρότερη ὁμάδα μουσικῶν σημαδιῶν (Κωνσταντῖνος Ψάχος, 1978) κατά τοὺς πρώτους αἰῶνες. Ἀντίθετα, κατά τήν τέταρτη περίοδο μέ διαδοχικὲς ἀναλύσεις τῶν στενογραφικῶν παραστάσεων

φθάνουμε σέ μιά πολύ αναλυτική μορφή τοῦ σημειογραφικοῦ συστήματος πολύ κοντινὴ πρὸς τὴν σημερινή μορφή.

Ἀπὸ τὶς μελέτες τῶν ξένων ἐρευνητῶν προκύπτει ὅτι τὰ σηματοδῶνα ποὺ σημαίνουν κίνηση σέ διαστήματα διαιροῦνται κατὰ τὴν μέση περίοδο τῆς βυζαντινῆς σημειογραφίας σέ δύο ὁμάδες: *στά σώματα* καὶ *στά πνεύματα*. Τὰ σώματα σημαίνουν μουσικὴ κίνηση μόνο ἓνα διάστημα πρὸς τὰ πάνω ἢ πρὸς τὰ κάτω στὴν διαστηματικὴ σκάλα. Τὰ πνεύματα σημαίνουν ἓνα πῆδημα ἀπὸ δύο, τρία καὶ τέσσερα διαστήματα. Μὲ συνδυασμὸ σωμάτων καὶ πνευμάτων ἔχουμε τὴν παράσταση ὅλων τῶν διαστημάτων στὴν μουσικὴ κλίμακα. Τὰ σώματα γραφόμενα πρὶν ἀπὸ τὰ πνεύματα στὴν μουσικὴ σειρὰ ἢ κάτω ἀπ' αὐτὰ ἔδιναν κάποια ρυθμικὴ ἢ δυναμικὴ ἀξία, τὴν ὁποία κατεῖχε ἐξ ὁρισμοῦ τό συγκεκριμένο σῶμα. Στὴν τελευταία φάση τῆς σημειογραφίας μεταχειρίσθηκαν τὰ κόκκινα βοηθητικὰ σημάδια γιὰ νὰ προσδιορίσουν τὸν τρόπο ἐκτέλεσης τῆς μελωδίας.

Σύμφωνα μὲ τὸν Κωνσταντῖνο Ψάχο ἀλλὰ καὶ σχεδὸν ὅλους τοὺς Ἕλληνες ἐρευνητὲς αὐτὰ τὰ κόκκινα σηματοδῶνα σήμαιναν τὴν στενογραφικὴ παράσταση μιᾶς μελωδικῆς γραμμῆς, ἢ ὁποία κατὰ τοὺς προηγουμένους χρόνους περιγραφόταν ἀπὸ τὸν χοράρχη μὲ μιά κίνηση τοῦ χεριοῦ (χειρονομία) καὶ ἢ ὁποία καταγράφηκε ἀργότερα σάν κόκκινο σημάδι μὲ τὴν κατάργηση τῆς χειρονομίας καὶ τῶν μεγάλων χορωδιῶν.

Σύμφωνα μὲ τὸν Σίμωνα Καρᾶ ἡ «χειρονομία» ἦταν ἓνας τρόπος τῶν βυζαντινῶν μελωδῶν νὰ περιγράψουν μελωδικὲς κινήσεις μὲ διάρκεια μικρότερη ἀπὸ τὴν χρονικὴ μουσικὴ μονάδα, δηλαδή διάφορα ἀντιπροσωπευτικὰ μελίσματα καὶ φωνητικὰ ποικίλματα (Σίμων Καρᾶς, 1976). Ὁ Γρηγόριος Στάθης παραθέτει τό θεωρητικὸ χειρόγραφο τοῦ Ἀποστόλου Κώνστα μὲ τὴν αναλυτικὴ ἐξήγηση τῶν διαφόρων στενογραφικῶν θέσεων - μελωδιῶν στὴν σημερινή μουσικὴ γραφὴ (Γρηγόριος Στάθης, 1978).

Στὴν σημερινή ἐποχὴ πιστεύουμε ὅτι διατηροῦμε τὴν συνέχεια τῆς μουσικῆς παράδοσης ἐνῶ χρησιμοποιοῦνται στὴν Βυζαντινὴ μουσικὴ σημειογραφία σημάδια τῶν ὁποίων ἡ μουσικὴ ἐρμηνεία - ἀπόδοση δέν εἶναι ἐπακριβῶς καθορισμένη.

Γράφει ὁ Χρυσάνθος, ὁ ἓνας ἀπὸ τοὺς τρεῖς δασκάλους τῆς μεταρρυθμίσεως:

«... Ἡ βαρεῖα θέλει νὰ προφέρηται μετὰ βάρους ὁ φθόγγος τοῦ χαρακτῆρος, ὅπου κεῖται ἔμπροσθέν της, ..., τό Ὁμαλόν προξενεῖ ἓνα κυματισμὸν τῆς φωνῆς ἐν τῷ λάρυγγι μὲ κάποιαν ὀξύτητα, ..., τό Ἀντικένωμα ὑποτιθέμενον τῷ Ὀλίγῳ μὲ κατιόντα χαρακτῆρα ἔμπροσθεν, προφέρει μὲ πέταγμα τὴν φωνήν, ..., κάτωθεν τοῦ ἀντικενώματος μὲ ἀπλῆ, ἢ φωνὴν προφέρεται κρεμαμένην τρόπον τινὰ καὶ ἀχωρίστως, ..., τό Ψηφιστόν δίδει κάποιαν δύναμιν καὶ ζωηρότητα, ..., τό Ἔτερον συνδέει χαρακτῆρας οἱ ὅποιοι προφέρονται λείως πως καὶ ἀδυνάτως συνδεδεμένοι, ..., ἡ Πεταστή ἀναβιβάζει τὴν φωνήν ὀλίγον περισσότερον ἀπὸ τὴν φυσικὴν ὀξύτητα τοῦ τυχόντος τόνου, ... , τὰ Κεντήματα συνέχουσι τὴν φωνήν ...» (ΕΙΣΑΓΩΓΗ Χρυσάνθου, 1821).

Θεωρῶντας ὅτι, σέ γενικὲς γραμμές, ἡ προφορικὴ παράδοση διατηρεῖται μέχρι τὴν ἐποχὴ τοῦ Χρυσάνθου χωρὶς σημαντικὲς ἀλλοιώσεις μποροῦμε νὰ συμπεράνουμε τὰ ἑξῆς :

α) Ἡ μουσικὴ βυζαντινὴ σημειογραφία ἀπέδιδε κατὰ στενογραφικὸν τρόπον τὶς μουσικὲς φράσεις, ποὺ ἔψαλλαν οἱ ψάλτες, οἱ ὅποιοι μὲ τὴ βοήθεια μιᾶς ἰσχυρῆς προφορικῆς παράδοσης, ἀναπαρήγαγαν τὴν σωστὴν προφορά τῶν ψαλτικῶν ἤχων, ἢ ὁποία σημαίνει κατὰ βάσιν ὅτι εἶχαν τό κατάλληλο ἡχόχρωμα ἀφοῦ ἡ βασικὴ μελωδικὴ κίνηση μπορεῖ νὰ γίνῃ καὶ χωρὶς μεταβολές στό ἡχόχρωμα.

β) Στους τωρινούς χρόνους, μετά την μεταρρύθμιση των τριών δασκάλων, ή ερμηνεία των ποιοτικών σημαδιών δίνεται με αντιληπτικούς, μάλλον νεφελώδεις όρους, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν οι φωνητικές ποιότητες, που απαιτούνται στην εκτέλεση αυτών των ποιοτικών σημαδιών, να αποδοθούν, εφόσον σιγά σιγά ή προφορική παράδοση άττονει.

Ο προσδιορισμός των ψαλτικών ήχοχρωμάτων είναι απόλυτα αναγκαίος, γιατί αποτελεί τό συμπλήρωμα μιάς ολοκληρωμένης μουσικής περιγραφής μελωδιών μαζί με την μελωδική τους κίνηση. Αργότερα, κατόπιν μελέτης των ανατομικών φωνητικών λειτουργιών, μπορεί να οδηγήσει στην κατανόηση του τρόπου έκφορας (παράγωγής) της φωνής, προκειμένου να επιτευχθεί ή μία ή ή άλλη φωνητική ποιότητα. Δεν φθάνει, δηλαδή, μόνο μιά πιθανή περιγραφή της μελωδικής κινήσεως κάθε ποιοτικού σημαδιού για την απόδοσή του, αλλά χρειάζεται και τό ανάλογο χρώμα της φωνής, τό οποίο προφανώς σχετίζεται με την τοποθέτησή της (πηγαία φωνή - άρθρωση), όπως ήδη έχουμε αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια.

Άμεση σχέση με τό ήχόχρωμα της φωνής μπορεί να έχει και ο «ήχος» στον οποίο ψάλλεται ένας εκκλησιαστικός ύμνος. Θα εξηγήσουμε τόσο τον όρο «ήχος» όσο και την σχέση του με τό ήχόχρωμα της φωνής.

Κατά τον 8ο αιώνα περίπου αντικαθίσταται ο όρος «τρόπος» των αρχαίων Έλλήνων με τον όρο «ήχος» προκειμένου να περιγραφεί κάθε ιδιαίτερο μελωδικό άκουσμα που οφείλεται άφ' ενός μόν στην μουσική κλίμακα που χρησιμοποιείται άφ' ετέρου δέ στην συγκεκριμένη μελωδική κίνηση (συχνότητα εμφάνισης φθόγγων - μελωδικές καταλήξεις - τονική βάση - μουσική έκταση).

Σύμφωνα με τον θεωρητικό της βυζαντινής μουσικής Χρύσανθο μητροπολίτη Προύσας, έναν από τους τρεις δασκάλους της σημειογραφικής μεταρρύθμισης, κάθε ήχος έχει τον δικό του χαρακτήρα και ήθος, τά οποία προσδιορίζονται με όρους αντιληπτικούς όπως :

Μεγαλοπρεπές, σεμνό, έμψυχωτικό, λυπητερό, σκληρό, ένθερμο, αλαζονικό, όρμητικό, φρικώδες, πανηγυρικό, παθητικό, ήδονικό, ταπεινό, φιλοίκτιρμον, διεγερτικό, χαύνον, ήσυχαστικό, γαλήνιο, είρηνικό και θελκτικό.

Καθώς τό άπήχημα (μιά αρχική πριν από τον εκκλησιαστικό ύμνο μικρής διάρκειας μελωδία) πρέπει να εισάγει τον ψάλτη στον ήχο, ο οποίος συνήθως είναι μόνο ένας μονοσύλλαβος φθόγγος (μιά νότα) είναι φανερό ότι χρειάζεται μιά χαρακτηριστική φωνητική ποιότητα για να διακριθεί από τό άπήχημα των άλλων ήχων που ψάλλονται σέ παρεμφερή τονικότητα.

Γιά παράδειγμα, γράφει ο Χρύσανθος ότι ο Τρίτος ήχος πρέπει να άπηχηθεί με τό νε αλλά με προφορά *βομβώδη και όγκώδη* με σκοπό να δείξη την ποιότητα του νανά, ενώ ο Πλάγιος του Τετάρτου άπηχείται με τό νε αλλά με προφορά *σοβαράν και ήγεμονικήν*.

Τά άνωτέρω ύποδηλώνουν την σχέση ύφους και φωνητικού ήχοχρώματος και έπομένως επιβεβαιώνουν την χρησιμότητα της ταξινόμησης των φωνών με βάση τό ήχόχρωμα.

4.3.4 Η ανάγκη ταξινόμησης των ψαλτικών ήχοχρωμάτων

Είναι έπόμενο, λόγω της εξέλιξης του μέλους διά μέσου των αιώνων αυτό να έπαθε αλλοιώσεις ή προσθαφαιρέσεις μελωδικών γραμμών αλλά λόγω της συντηρητικότητας και άυστηρότητας για την συνέχεια της μουσικής παράδοσης, ιδιαίτερα όσον άφορά στην πατριαρχική παράδοση της Πόλης, θα πρέπει συνολικά σάν μελωδικός πλούτος να παρέμεινε ο ίδιος.

Έχουμε τήν γνώμη ότι διάφοροι παλαιοί τρόποι ψαλμώδησης, παρά τό ότι έχουν αποσυντεθεῖ, ταυτόχρονα έχουν διασπαρεῖ μέσα στά σύγχρονα υπάρχοντα ψαλτικά ὕφη σάν σποραδικά στοιχεῖα.

Ἀπό ὅλο τό ψαλτικό φωνητικό ὕλικό πού διαθέτουμε ἀπό τίς ἀρχές τοῦ αἰῶνα μας (δίσκοι 78 στροφῶν, παλιές ἠχογραφήσεις καί νεώτερη ψαλτική παραγωγή), μποροῦμε νά διακρίνουμε ἐκεῖνα τά στοιχεῖα πού περιγράφονται ἀπό τά μουσικά σημάδια. Αὐτό σημαίνει ότι διαθέτουμε σήμερα διά μέσου τῆς ψαλτικῆς παράδοσης πιθανῶς ὅλους τούς τρόπους ἐκφορᾶς τῶν διαφορῶν σηματοφώνων παλαιῶν τε καί νέων ἀλλά πρέπει νά δοθεῖ ἡ κατάλληλη ἀντιστοίχιση μεταξύ τοῦ φωνητικοῦ ἀκούσματος καί τῆς σημειογραφικῆς του παράστασης.

Διάφορες ἀναλύσεις σηματοφώνων πού ἔχουν δοθεῖ σήμερα εἶναι δύσκολο νά ἀποδοθοῦν ἐπιτυχῶς ἂν δέν ἔχει προηγηθεῖ ἀνάλογη περιγραφή τοῦ φωνητικοῦ τρόπου πού χρειάζεται νά ἐφαρμοσθεῖ ὥστε τό μέλος νά ἔχει ἐκκλησιαστικό χαρακτήρα. Παρατηροῦνται, γιά παράδειγμα, φωνητικές ἀναλύσεις πιστές στήν μελωδική τους γραμμή πλὴν ὅμως ἀτεχνες καί ἀκαλαίσθητες, ἰδιαίτερα ἀπό ὅχι καλῶς ἐξησκημένες φωνές, ἢ ἄλλες φτωχές ἀποδόσεις τοῦ σκελετοῦ τῆς μελωδικῆς γραμμῆς χωρίς ποικίλματα, ὅπως ἡ παλαιά μετροφωνία. Πιθανότατα κάποια σηματοφώννα ἀποδίδονται ὅχι «συλλαβιστά», δηλαδή μέ ἀπλή ἀνάγνωση τῆς μουσικῆς ἀνάλυσής τους, ἀλλά μέ κάποιο πετυχημένο λαρυγγισμό πού μόνο μέ τήν μίμηση μπορεῖ νά δημιουργηθῇ.

Ἐδῶ ἀξίζει νά ἀναφέρουμε τήν ἀποψη τοῦ Βασιλείου Στεφανίδη ότι «ὁ σχηματισμός τῶν μεγάλων ὑποστάσεων (ἁφῶνων σηματοφώνων) ἀπό ἡμέρας εἰς ἡμέραν διαφθείρεται, ἐπειδή οἱ μαθηταί δέν μανθάνουσι διά ζώσης φωνῆς τούς σχηματισμούς αὐτῶν ἀλλά πᾶσχουσιν μέ ἐξηγήσιν τινά ...» (Βασιλείου Στεφανίδη, 1902).

Οἱ διάφορες ποιοτικές ἐκφράσεις πού προσπάθησαν οἱ τρεῖς δάσκαλοι νά ἀποδώσουν στά σηματοφώννα εἶναι φανερό ότι ἐπιδέχονται διάφορες ἐρμηνεῖς οἱ ὁποῖες πρέπει νά ἐρευνηθοῦν μέσα στόν υπάρχοντα παραδοσιακό μουσικό πλοῦτο ἀλλά καί νά δοθοῦν ἴσως νέες μελετῶντας τόν τρόπο τῆς φωνῆς καί δοκιμάζοντας καί ἐλέγχοντας τό ἀκουστικό ἀποτέλεσμα.

Εἶναι ἀνάγκη νά περιγράφουμε μέ σαφῆ τρόπο τήν λεγόμενη χειρονομία στό μουσικό κείμενο ὑπό τήν ἐννοια τουλάχιστον τῆς τροπικῆς μουσικῆς κίνησης μέ περιθώρια ἐκφρασης γιά τόν δημιουργό - ψάλτη. Παραδείγματος χάριν, γιά τήν ἐνέργεια τῆς πεταστῆς ἀρκεῖ νά ἀποδίδεται περίπου ἡ μορφή τῆς κίνησης πού ὑποδηλώνει παράλληλα μέ κατάλληλη ἠχοχρωματική περιγραφή ὥστε νά εἶναι καλλιτεχνικά ἐπιτυχής.

Ἡ διάκριση μεταξύ τῶν ψαλτικῶν ἠχοχρωμάτων, λοιπόν, σαφέστατα σχετίζεται μέ τήν διάκριση μεταξύ τῶν ὕφῶν ἐφ' ὅσον ἡ ἰδιαίτερη φωνητική ἀπόδοση τῆς μουσικῆς σημειογραφίας σημαίνει ἓνα ξεχωριστό ὕφος.

Ἀκόμη, τίθεται τό ἐκπαιδευτικό ἐρώτημα τοῦ τρόπου τῆς φωνητικῆς διδασκαλίας τῶν μαθητῶν πού θά γίνουν ἱεροψάλτες. Πῶς πρέπει νά ἐκπαιδευθοῦν ὥστε νά ἀποκτήσουν τό ἓνα ἢ τό ἄλλο μουσικό ὕφος; Ἡ ἀκόμα, ποιοῦ ὕφος ταιριάζει στήν φωνή τους καί ποιές εἶναι οἱ δυνατότητες φωνητικῆς ἀνάπτυξής τους;

Ἄλλα ἐρωτήματα μποροῦν νά τεθοῦν ὅπως: Πῶς μπορεῖ νά δομηθεῖ ἓνας πολυμελὴς χορὸς ψαλτῶν; Πῶς μπορεῖ ἓνας ψάλτης νά βελτιώσῃ τήν φωνητική του ἐκφραση; Ὅλα αὐτά τά ἐρωτήματα μποροῦν νά ἀπαντηθοῦν μόνο ἂν μελετηθοῦν συστηματικά οἱ ψαλτικές φωνές ὡς πρὸς τά ἠχοχρώματά τους.

Ὁ «τόπος» τῆς φωνῆς, πού προηγουμένως ἀναφέραμε, δέν ἐπιδρᾷ σημαντικά στήν ψαλτική μονωδική ἐκτέλεση, ἀφοῦ εἶναι γνωστό ότι ἡ τονική βάση τοῦ ψαλλομένου μαθήματος μπορεῖ νά μεταφερθεῖ πάνω ἢ κάτω ἔτσι ὥστε νά ταιριάζει

μέ τήν φωνητική ἔκταση τοῦ ψάλτη. Ἐχει ὅμως μεγάλη σημασία ὁ τρόπος τοῦ ψάλλειν καί τό ὅλο περίγραμμα τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου προκειμένου νά πετύχει τήν ἡχοχρωματική διαφοροποίηση μεταξύ τῶν ἐπί μέρους μουσικῶν ἐκφράσεων τοῦ μαθήματος. Γνωρίζουμε δέ ὅτι ἡ μονωδία εἶναι ὁ συνηθέστερος τρόπος ἐκτέλεσης τῶν ἐκκλησιαστικῶν ὕμνων καί ἐπομένως ὁ πῖό σημαντικός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 Εισαγωγή

Από τα προηγούμενα κεφάλαια έγινε φανερή η σπουδαιότητα της χρήσης του φωνητικού ήχοχρώματος σάν βασικό κριτήριο προκειμένου νά γίνει μιά διάκριση μεταξύ των ψαλτικών φωνών. Είδαμε επίσης ότι οι ακουστικές μελέτες πού έχουν γίνει για τις όπερατικές φωνές άφορούν μεταξύ άλλων καί τά φάσματα συχνοτήτων τους.

Έτσι, σ' αὐτήν τήν εργασία μελετήθηκαν μόνο φάσματα ψαλτικών φωνών σάν μιά αρχική προσπάθεια εὑρεσης χαρακτηριστικῶν σχέσεων μεταξύ τους.

Εἶναι γνωστό ότι τό φᾶσμα συχνοτήτων κάποιου ἡχητικοῦ ἀποσπάσματος περιλαμβάνει ὅλη τήν «πληροφορία» πού περιλαμβάνει καί τό ἡχητικό ἀπόσπασμα - τμήμα φωνητικῆς ἡχογράφησης τοῦ ὁποίου ἐξετάζεται τό φᾶσμα. Πράγματι, τό ἀνωτέρω ἡχητικό ἀπόσπασμα, τό ὁποῖο ἀποτελεῖ ἓνα σῆμα καί εἶναι μιά κυματομορφή (χρονικό πεδίο - time domain), ἂν μετασχηματισθεῖ κατὰ Fourier, δηλαδή, ἀναλυθεῖ σέ ἓνα ἄθροισμα ἡμιτονοειδῶν ἢ μιγαδικῶν ἐκθετικῶν συνιστωσῶν μέ τήν ἰσχύ καί τήν φάση κάθε μιᾶς συνιστώσας, τότε μιλάμε γιά ἰσοδύναμη παράσταση τοῦ σήματος στό πεδίο συχνοτήτων (frequency domain). Ἐπειδή, ὅμως, εἶναι γνωστό ότι οἱ φάσεις τῶν ἁρμονικῶν συνιστωσῶν δέν γίνονται ἀντιληπτές ἀπό τό ἀνθρώπινο ἀκουστικό σύστημα (Κυματική Berkley, 1979), γι' αὐτό ἡ μελέτη περιορίστηκε στήν μελέτη τῶν ἰσχύων τῶν ἁρμονικῶν συνιστωσῶν.

Τό πρὸς ἀνάλυση ἀναλογικό σῆμα, ἀφοῦ προηγουμένως ψηφιοποιηθεῖ γίνεται ἐπεξεργασία του μέ τήν βοήθεια ψηφιακῶν ἐργαλείων ἀνάλυσης. Τό ψηφιακό σῆμα, τό ὁποῖο προκύπτει ἀπό τό ἀρχικό - ἀναλογικό σῆμα, ἂν δειγματοληπτηθεῖ μέ κατάλληλο ρυθμό δειγματοληψίας μπορεῖ νά διατηρεῖ ἀναλλοίωτη τήν ἀρχική πληροφορία τοῦ ἀναλογικοῦ σήματος. Ἀρκεῖ, μέ βάση τό θεώρημα δειγματοληψίας, ἡ συχνότητα δειγματοληψίας νά εἶναι τουλάχιστον ἴση μέ τό διπλάσιο τοῦ εὔρους ζώνης τοῦ φάσματος τοῦ σήματος. Γιά τόν σκοπό αὐτό περιορίζεται μέ φίλτρο χαμηλῆς διέλευσης τό εὔρος ζώνης τοῦ φάσματος πρὸς ἀποφυγή τοῦ φαινομένου πού λέγεται ἄλλοίωση (aliasing) (Proakis & Manolakis, 1992).

Τά σήματα τραγουδιστικῆς φωνῆς, ὅπως καί τά περισσότερα σήματα πού συναντῶνται στήν φύση, μεταβάλλουν τό φᾶσμα συχνοτήτων τους μέ τόν χρόνο, καί κατὰ βάση τίς στατιστικές του ιδιότητες. Ἐτσι χρησιμοποιοῦμε τόν ὄρο «ἐκτίμηση» βραχύχρονου φάσματος (short-term spectrum), ἡ ὁποία γίνεται σέ μικρῆς διάρκειας τμήμα τοῦ σήματος ἔτσι ὥστε νά εἶναι δυνατή βῆμα πρὸς βῆμα ἡ παρακολούθηση τῆς μεταβολῆς στό χρόνο τῶν φασματικῶν ιδιοτήτων τοῦ σήματος. Παράλληλα, πρέπει ἡ ἐκτίμηση τοῦ φάσματος συχνοτήτων νά γίνεται σέ τέτοιας πεπερασμένης διάρκειας «τμήμα» τοῦ ψηφιακοῦ σήματος (συνήθως 20 ἕως 30msec), ὥστε οἱ φασματικές του ιδιότητες νά παραμένουν περίπου σταθερές (π.χ. μιά ἀργή μεταβολή) (Rabiner & Schafer, 1978).

Τό φᾶσμα ἰσχύος (power spectrum) μπορεῖ νά ἐκτιμηθεῖ μέ πολλούς τρόπους, οἱ ὁποῖοι ὁμαδοποιοῦνται σέ δύο κατηγορίες: τίς κλασσικές ἢ μή παραμετρικές καί τίς παραμετρικές. Οἱ κλασσικές ἢ μή παραμετρικές μέθοδοι δέν κάνουν ἄλλη ὑπόθεση γιά τήν στατιστική τῶν δεδομένων παρά μόνο ὅτι εἶναι στάσιμη ὑπὸ εὐρεία ἔννοια (WSS) καί ἐργοδική, ἐνῶ οἱ παραμετρικές μέθοδοι χρησιμοποιοῦν μοντέλα πού

«περιγράφουν» τὰ δεδομένα, ὅπως, γιὰ παράδειγμα ἓνα ἀναδρομικό ψηφιακό φίλτρο τοῦ ὁποίου ἡ ἐξοδος ἔχει τὶς ἴδιες φασματικές ιδιότητες μέ τὰ δεδομένα ὅταν αὐτό διεγερθεῖ ἀπὸ λευκό θόρυβο (Rabiner & Schafer, 1978). Οἱ παραμετρικοί «ἐκτιμητές» φάσματος παρουσιάζουν μικρότερη ἀπόκλιση καὶ διακύμανση ἀπὸ τοὺς κλασσικούς ἐκτιμητές γιὰ τὸ ἴδιο σῆμα (Childers, D., G., 2000). Γιὰ καλύτερα ἀποτελέσματα στὴν φασματική ἐκτίμηση χρειάζεται νὰ συνδυάζονται οἱ ἐκτιμήσεις διαφορετικῶν φασματικῶν ἐκτιμητῶν.

Στὴν κλασσική - μὴ παραμετρική ἐκτίμηση τῆς φασματικῆς πυκνότητας ἰσχύος (Power Spectral Density) PSD, μπορούμε νὰ χρησιμοποιήσουμε εἴτε ἄμεση εἴτε ἔμμεση μέθοδο ἀνάλογα μέ τὸν ὀρισμὸ τῆς. Σύμφωνα μέ τὴν πρώτη μέθοδο, ἡ PSD προκύπτει κατευθείαν ἀπὸ τὴν χρονική ἀκολουθία δεδομένων καὶ αὐτὸς ὁ φασματικὸς ἐκτιμητὴς εἶναι τὸ περιοδόγραμμα (periodogram), ἐνῶ σύμφωνα μέ τὴν δεύτερη, ἡ PSD προκύπτει μέ μετασχηματισμὸ Fourier τῆς ἀκολουθίας αὐτοσυσχέτισης (autocorrelation), ἡ ὁποία ὑπολογίζεται ἀπὸ τὴν ἀκολουθία δεδομένων καὶ ὁ ἐκτιμητὴς λέγεται σχεσιόγραμμα (correlogram).

Τὸ περιοδόγραμμα δὲν εἶναι συνεπὴς (consistent) ἐκτιμητὴς τῆς ἀληθινῆς PSD ἐνῶ εἶναι ἀσυμπτωτικά ἀμερόληπτος (unbiased) ἐκτιμητὴς πρᾶγμα τὸ ὁποῖο σημαίνει ὅτι γιὰ πεπερασμένης διάρκειας ἀκολουθία ἡ μέση τιμὴ τοῦ ἀποκλίνει ἀπὸ τὴν ἀληθινὴ PSD. Ἐπίσης μειονεκτεῖ λόγω τῆς λείανσης (smoothing) καὶ τῆς φασματικῆς διαρροῆς (leakage) ἐξ αἰτίας τῆς ἐφαρμογῆς παραθύρου (windowing) στὴν ἀκολουθία δεδομένων (Proakis & Manolakis, 1992).

Ἄλλες κλασσικές - μὴ παραμετρικές μέθοδοι ἐκτίμησης τῆς PSD ἀναπτύχθηκαν μέ σκοπὸ νὰ προκύψουν συνεπεῖς φασματικοὶ ἐκτιμητές βασισμένες σὲ κάποιες λειτουργίες εὗρεσης μέσου ὅρου (averaging) ἢ λείανσης ἐφαρμοζόμενες εἴτε πάνω στό περιοδόγραμμα εἴτε στὴν αὐτοσυσχέτιση. Τὸ ἀποτέλεσμα εἶναι νὰ ἐλλαττωθεῖ ἡ διακύμανση (variance) ἀλλὰ μέ κόστος τὴν μείωση τῆς φασματικῆς διακριτικῆς ἱκανότητας (frequency resolution). Μιά τέτοια μέθοδος εἶναι ἡ μέθοδος Welch ἢ μέθοδος τῆς εὗρεσης μέσου ὅρου τῶν τροποποιημένων περιοδογραμμάτων, τὴν ὁποία καὶ ἐφαρμόσθηκε στὴν παροῦσα μελέτη.

Στὰ ἐπόμενα θὰ συζητηθοῦν ἀναλυτικὰ οἱ μέθοδοι πού χρησιμοποιήθηκαν καὶ θὰ περιγραφεῖ ἡ μεθοδολογία τῆς φασματικῆς ἀνάλυσης πού ἀκολουθήθηκε.

5.2 Βασικές ἔννοιες

Μιά τυχαία διαδικασία μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ὅτι εἶναι ἓνα σύνολο πραγματικῶν ἢ μιγαδικῶν διακριτῶν χρονικῶν (ἢ χωρικῶν) ἀκολουθιῶν ἀπὸ τὶς ὁποῖες μπορεῖ κάθε μία νὰ παρατηρηθεῖ σ' ἓνα πείραμα. Χρησιμοποιώντας τὸν συμβολισμό $X(n, S)$ γιὰ νὰ δηλωθεῖ τὸ σύνολο ὅλων τῶν δυνατῶν κυματομορφῶν τότε κάθε στοιχεῖο τοῦ συνόλου παριστάνεται σὰν $x(n, s)$, ὅπου s εἶναι δείκτης συνόλου καὶ n εἶναι χρονικὸς δείκτης γιὰ αὐτὴν τὴν συγκεκριμένη χρονική ἀκολουθία δεδομένων - κυματομορφῆς. Διαγράφοντας τὸν δείκτη συνόλου γιὰ εὐκολία, ἡ χρονική ἀκολουθία $x(n)$ εἶναι μιὰ μοναδικὴ πραγματοποίηση τῆς τυχαίας διαδικασίας $X(n)$ καὶ λέγεται δειγματοσυνάρτηση (sample function).

Θεωρώντας ἀνεξάρτητες μεταξύ τους τὶς πραγματοποιήσεις τῆς τυχαίας διαδικασίας $X(n)$, ἡ μέση τιμὴ συνόλου ἢ ἀναμενόμενη τιμὴ τῆς, ὀρίζεται:

$$\bar{x}(n) \equiv E\{X(n)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(n)p(x(n))dx(n) \quad (5.1.)$$

όπου τό ολοκλήρωμα σημαίνει τό άπειρο πλήθος τών μελών τοῦ συνόλου καί $p(x)$ εἶναι ἡ πυκνότητα πιθανότητος τῆς τυχαίας διαδικασίας.

Ἡ αὐτοσυσχέτιση (autocorrelation) τῆς τυχαίας διαδικασίας $X(n)$, ὀρίζεται γιά δύο χρονικούς δεῖκτες n_1, n_2 ὡς ἐξῆς:

$$r_{xx}(n_1, n_2) = E\{X(n_1)X^*(n_2)\} \quad (5.2.)$$

όπου τό σύμβολο (*) δηλώνει τήν συζυγή μιγαδική ἀναπαράσταση τῆς $X(n)$.

Ἡ τυπική ἀπόκλιση (διακύμανση - variance) τῆς $X(n)$ ὀρίζεται:

$$\text{var}\{x(n)\} = E\{|x(n)|^2\} - |E\{x(n)\}|^2 \quad (5.3.)$$

Ἄν ἡ $x(n)$ τυχαία διαδικασία εἶναι *στάσιμη ὑπό αὐστηρή ἔννοια* ἡ στατιστική της παραμένει σταθερή γιά κάθε χρονική μετατόπιση ἐνῶ λέγεται *στάσιμη ὑπό εὐρεῖα ἔννοια* (WSS - wide sense stationary), δηλαδή ἡ μέση τιμή της εἶναι σταθερή γιά ὅλα τά n , καί ἡ αὐτοσυσχέτιση ἐξαρτᾶται μόνο ἀπό τήν χρονική διαφορά $m = n_1 - n_2$ τότε

$$\bar{x}(n) = \bar{x} \quad (5.4.)$$

καί

$$r_{xx}(m) = E\{x(n+m)x^*(n)\} \quad (5.5.)$$

Ἡ φασματική πυκνότητα ἰσχύος PSD (Power Spectral Density) ὀρίζεται ὁ μετασχηματισμός Fourier διακριτοῦ χρόνου (DTFT - Discrete Time Fourier Transform) τῆς αὐτοσυσχέτισης, δηλαδή

$$P_{xx}(f) = T \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_{xx}(m) e^{-j2\pi fmT} \quad (5.6.)$$

όπου T ἡ περίοδος δειγματοληψίας.

Ὅλα τά παραπάνω στατιστικά μεγέθη πρέπει νά ὑπολογισθοῦν μέ βάση ἕνα σύνολο κυματομορφῶν τό ὁποῖο στήν πράξη δέν ὑπάρχει. Γι' αὐτό γίνεται ἐκτίμηση τών τιμῶν τους ἀπό μιά μοναδική κυματομορφή $x(n)$ ἀντικαθιστῶντας τούς μέσους συνόλου (ensemble averages) μέ τούς χρονικούς μέσους ὁρους (time averages). Λέμε τότε ὅτι ἡ τυχαία διαδικασία εἶναι *ἐργοδική*, ἂν, δηλαδή, οἱ χρονικοί μέσοι ὁροί ὅλων τών πιθανῶν μοναδικῶν κυματομορφῶν εἶναι ἴσοι μέ τήν ἴδια σταθερή ποσότητα (Marple, 1987).

Στό ἐξῆς θά θεωροῦνται ἐργοδικές ὅλες οἱ τυχαῖες διαδικασίες καί ἐπομένως στάσιμες μέχρι τίς ροπές (moments) 4ης τάξης καί μάλιστα WSS.

5.3 Κλασσική φασματική εκτίμηση

5.3.1 Ο βραχύχρονος μετασχηματισμός Fourier (Short-time Fourier transform)

Στήν επεξεργασία ομιλίας (speech processing) ο μετασχηματισμός Fourier παίζει σημαντικό ρόλο, όπου λόγω της μεταβλητότητας των φασματικών ιδιοτήτων του σήματος ομιλίας για μεγάλες χρονικές περιόδους αλλά και της σχετικής σταθερότητας τους μέσα σε μικρά χρονικά διαστήματα (μέχρι 30msec) είναι βολικότερο να οριστεί ένας χρονικά μεταβαλλόμενος μετασχηματισμός Fourier

$$X_n(e^{j\omega}) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} w(n-m)x(m)e^{-j\omega m} \quad (5.7.)$$

όπου $w(n-m)$ είναι η διακριτή συνάρτηση παραθύρου, η οποία καθορίζει το τμήμα του σήματος $x(m)$, το οποίο αρχίζει την χρονική στιγμή n (Rabiner & Schafer, 1978).

Η σχέση 5.7 μπορεί να ιδωθεί σαν τον κανονικό μετασχηματισμό Fourier της ακολουθίας $w(n-m)x(m)$ για σταθερό n . Ίκανή συνθήκη για την ύπαρξη του βραχύχρονου μετασχηματισμού Fourier είναι η ακολουθία $w(n-m)x(m)$ να είναι απόλυτα αθροίσιμη για όλες τις τιμές του n , πράγμα το οποίο συνήθως ισχύει επειδή η ακολουθία $w(n-m)$ είναι περιορισμένης διάρκειας.

Η ακολουθία $x(m)$ μπορεί να ανασυσταθεί από τον βραχύχρονο μετασχηματισμό με ακρίβεια για $m = n$ αν $w(0) \neq 0$, ως εξής

$$x(n) = \frac{1}{2\pi w(0)} \int_{-\pi}^{\pi} X_n(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (5.8.)$$

αν η $X_n(e^{j\omega})$ είναι γνωστή για όλες τις τιμές ω μεταξύ $-\pi$ και π (Rabiner & Schafer, 1987).

Η μορφή της συνάρτησης παραθύρου παίζει σημαντικό ρόλο στον βραχύχρονο μετασχηματισμό Fourier, ο οποίος είναι ουσιαστικά ο συγκερασμός των κανονικών μετασχηματισμών των ακολουθιών $w(n-m)$ και $x(m)$, $W(e^{j\omega})$ και $X(e^{j\omega})$ αντίστοιχα

$$X_n(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} W(e^{j\theta}) e^{j\theta n} X(e^{j(\omega+\theta)}) d\theta \quad (5.9.)$$

όπου, ο μετασχηματισμός του παραθύρου

$$W(e^{j\omega}) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} w(m) e^{-j\omega m} \quad (5.10.)$$

και του σήματος ομιλίας

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)e^{-j\omega m} \quad (5.11.)$$

θεωρούμε ότι υπάρχουν.

Η σχέση 5.9 δεν ισχύει με την αυστηρή έννοια για ένα σήμα όμιλίας αφού αυτό είναι περιοδικό (έμφωνοι ήχοι) (Deller, J., 1993), όμως, αν θεωρηθεί ότι η ακολουθία $w(n-m)x(m)$ προέρχεται από μία άπειρη περιοδική ακολουθία και αποτελεί απλώς ένα υπερτονισμένο τμήμα της, ο βραχύχρονος μετασχηματισμός Fourier μπορεί να ερμηνευθεί σαν την λειασμένη (smoothed) έκδοση του μετασχηματισμού Fourier του μέρους του σήματος μέσα στο παράθυρο (Rabiner & Schafer, 1987).

Η επίδραση του παραθύρου έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση στο φάσμα του σήματος όμιλίας ενός ισχυρού κεντρικού λοβού με πλάτος αντιστρόφως ανάλογο του μήκους του παραθύρου και ασθενέστερους πλευρικούς λοβούς οι οποίοι αλλοιώνουν το φάσμα. Για καλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα (frequency resolution) (πλάτος κεντρικού λοβού) χρειάζεται «μεγάλο» μήκος παραθύρου και τετραγωνικό παράθυρο ενώ για μεγαλύτερη μείωση της ισχύος των πλευρικών λοβών χρειάζεται παράθυρο με λειασμένα άκρα (Kaiser, Hamming, Hanning, Blackman) (Marple, 1987). Η καλύτερη επιλογή παραθύρου βασίζεται σ' ένα πᾶρε-δῶσε μεταξύ καλύτερης διακριτικής ικανότητας και ασθενέστερων πλευρικών λοβών.

5.3.2 Τό περιοδόγραμμα

Σε μία μη παραμετρική - κλασσική περιγραφή της στατιστικής δευτέρας τάξεως της τυχαίας διαδικασίας, ή οποία εφαρμόζεται μόνο αν είναι WSS, ή φασματική πυκνότητα ισχύος, $P_{xx}(f)$, που προκύπτει από την σχέση (5.6), πρέπει να είναι περιορισμένη στην περιοχή συχνοτήτων $\pm 1/2T$ Hz, και περιοδική στην συχνότητα με περίοδο $1/T$ Hz. Αποδεικνύεται εύκολα ότι

$$r_{xx}(0) = \int_{-1/2T}^{1/2T} P_{xx}(f) df \quad (5.12.)$$

πού σημαίνει ότι, έπειδή η αυτοσυσχέτιση για μετατόπιση $m=0$ στον χρόνο παριστάνει την μέση ισχύ στην τυχαία διαδικασία (βλέπε παρακάτω), τό έμβασό της περιοχής κάτω απ' την $P_{xx}(f)$ θά αναπαριστᾷ επίσης την μέση ισχύ, και έπο-μένως ή $P_{xx}(f)$ περιγράφει την ισχύ ανά μονάδα συχνότητας και ἄρα είναι μία συνάρτηση πυκνότητας. (Marple, 1987). Αν ή αυτοσυσχέτιση είναι πραγματική, ή $P_{xx}(f)$ μπορεί νά έκφρασθεῖ μέ την μορφή :

$$P_{xx}(f) = 2T \sum_{m=0}^{\infty} r_{xx}(m) \cos(2\pi f m T) \quad (5.13.)$$

Στήν πράξη δέν είναι γνωστή ή $r_{xx}(m)$ καθώς και οι ἄλλοι στατιστικοί περιγραφείς, γιατί δέν έχουμε τυπικά ένα σύνολο κυματομορφών - πραγματοποιήσεων της τυχαίας διαδικασίας, ἄλλά θά πρέπει νά τούς έκτιμήσουμε από μία μοναδική χρονική κυματομορφή, ὑποκαθιστώντας τούς μέσους συνόλου μέ τούς χρονικούς μέσους. Τότε ὑποθέτουμε ότι ή τυχαία διαδικασία είναι *εργοδική* (ergodic process),

πράγμα που σημαίνει ότι η εκτίμηση της PSD θα γίνει βάσει του στατιστικού χρονικού μέσου όρου (*time average*) αντί του μέσου όρου συνόλου (*ensemble average*), απλουστεύοντας έτσι σημαντικά την μαθηματική ανάλυση. Η αρχή της εργοδικότητας απαιτεί να είναι η τυχαία διαδικασία στάσιμη που σημαίνει ότι η στατιστική της δεν αλλάζει αν μεταβληθεί η χρονική αρχή · δηλαδή δεν εξαρτάται από τον χρόνο.

Ένας εκτιμητής της αυτοσυσχέτισης $r_{xx}(m)$, για πεπερασμένο πλήθος δεδομένων N είναι :

$$\hat{r}_{xx}(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x(n+m)x^*(n) \quad (5.14.)$$

όπου N είναι ο αριθμός των δειγμάτων δεδομένων, και η χρονική μετατόπιση m αναφέρεται σε θετικές τιμές από 0 έως $N-1$, ενώ για αρνητικές τιμές μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα με χρήση του $|m|$ αντί του m . Ο εκτιμητής είναι τελικά συζυγής συμμετρικός, που σημαίνει ότι από τις τιμές της $r_{xx}(m)$ για θετικά m , παίρνουμε εύκολα τις τιμές της $r_{xx}(m)$ για αρνητικά m , με απλή συζυγή συμμετρία. Επίσης είναι άμερόληπτος (*unbiased*), αφού η αναμενόμενη τιμή του E είναι ίση με την αληθινή (στό εξής θα αναφέρουμε τον όρο «αληθινή» για την αντικειμενική τιμή μιᾶς παραμέτρου σε αντιδιαστολή με την εκτιμημένη τιμή της) $r_{xx}(m)$ ενώ η τυπική του απόκλιση (*variance*), για χρονικές μετατοπίσεις m πολύ μικρότερες του N , αυξάνει με την αύξηση της m ενώ ελαττώνεται με την αύξηση του N και άρα αυτός ο εκτιμητής είναι συνεπής (*consistent*). Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι, για πεπερασμένο μήκος δεδομένων N και για χρονική μετατόπιση $m=0$, η $r_{xx}(m)$ είναι η ολική ισχύς του σήματος :

$$\hat{r}_{xx}(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2 \quad (5.15.)$$

Τό αποτέλεσμα της PSD που προκύπτει από αυτόν τον εκτιμητή της $r_{xx}(m)$ λέγεται *σχεσιόγραμμα* (*correlogram*).

Η υπόθεση της εργοδικότητας επιτρέπει την χρήση του ισοδυνάμου ορισμού του χρονικού μέσου όρου για την PSD, ως εξής :

$$P_{xx}(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} E \left\{ \frac{1}{(2N+1)T} \left| T \sum_{n=-N}^N x(n) e^{-j2\pi f n T} \right|^2 \right\} \quad (5.16.)$$

Αυτή η ισοδύναμη PSD, δηλαδή, υπολογίζεται με βάση τον στατιστικό μέσο όρο του τετραγώνου του μεγέθους του μετασχηματισμού Fourier διακριτού χρόνου DTFT ενός συνόλου δεδομένων, με εφαρμογή παραθύρου (*windowing*) μήκους N και διαιρεμένου με τό μήκος δεδομένων, όπου τό N τείνει στο άπειρο. Η μεταβλητή T είναι τό χρονικό διάστημα μεταξύ δύο δειγμάτων. Ο στατιστικός μέσος όρος χρειάζεται επειδή και ο ίδιος ο DTFT είναι μία τυχαία διαδικασία, εξαρτώμενος από την κάθε πραγματοποίηση της $x(n)$ (Marple, 1987, Proakis, 1992). Αγνοώντας τον τελεστή E και θεωρώντας ότι τό σύνολο δεδομένων αποτελείται από N δείγματα προκύπτει τό φάσμα δείγματος (*sample spectrum*)

$$\hat{P}_{xx}(f) = \frac{T}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi f n T} \right|^2 \quad (5.17.)$$

πού είναι ταυτόσημο με τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier της αυτοσυσχέτισης με έκτιμητή τόν

$$\hat{r}_{xx}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} x(n+m) x^*(n) \quad (5.18.)$$

πού είναι μεροληπτικός (*biased*), ενώ η αναμενόμενη τιμή του φάσματος δείγματος, για μέν πεπερασμένο N είναι μεροληπτική, δηλαδή όχι ίση με την αληθινή PSD, αλλά για $N \rightarrow \infty$ είναι αμερόληπτη. Παράλληλα η τυπική απόκλιση του δέν τείνει στο μηδέν καθώς μεγαλώνει τό N , δηλαδή τό φάσμα δείγματος είναι ασυνεπής έκτιμητής της αληθινής PSD, έπειδή έχει άγνοηθεϊ ή αναμενόμενη τιμή E , ενώ τό αποτέλεσμα του έκτιμητή που προκύπτει λέγεται *περιοδόγραμμα* (*periodogram*).

Γιά νά έλλαττωθεϊ περισσότερο ή διακύμανση εφαρμόσθηκε από τόν Bartlett διαίρεση της άκολουθίας δεδομένων σε μή έπικαλυπτόμενα τμήματα δεδομένων, εύρεση του περιοδογράμματος για κάθε τμήμα και τέλος ύπολογισμός του μέσου όρου των περιοδογραμμάτων. Τό τίμημα ήταν ή μείωση της διακριτικής ικανότητας του φάσματος. Στην μέθοδο του Bartlett, ό Welch έκανε δύο τροποποιήσεις, δηλαδή ότι τά τμήματα, στά όποϊα διαιρείται ή άκολουθία δεδομένων, μπορούσαν νά έπικαλύπτονται μεταξύ τους και ότι χρησιμοποίησε παράθυρο για κάθε τμήμα πρίν τόν ύπολογισμό των περιοδογραμμάτων, των όποιών μετά ύπολόγιζε τόν μέσο όρο. Τό αποτέλεσμα ήταν νά περιορισθεϊ ή απόκλιση (*bias*), ή όποϊα όφείλεται στην διαρροή (*leakage*) ισχύος πρós όλόκληρη τήν περιοχή συχνοτήτων, δηλαδή και έκτός των αναμενόμενων θέσεων του φάσματος όπου ύπάρχουν άρμονικές έξαιτίας της χρήσης του παραθύρου (*windowing*).

Η ποιότητα των άνωτέρω φασματικών έκτιμητών όρίζεται σάν τό πληλϊκο του τετραγώνου του μέσου της PSD πρós τήν διακύμανσή του. Έτσι, ή μέθοδος Welch παρουσιάζει καλύτερη ποιότητα έκτιμητή από εκείνη του Bartlett ενώ είναι συγκρίσιμη με άλλες μεθόδους (Blackman-Tukey) (Proakis & Manolakis, 1992).

Η φασματική διακριτική ικανότητα δέν μπορεί νά είναι μεγαλύτερη από τό αντίστροφο του μήκους του παραθύρου δηλαδή της χρονικής διάρκειας της άκολουθίας δεδομένων που αναλύουμε. Η βελτίωσή της έξαρτάται από τό είδος του παραθύρου που θα χρησιμοποιηθεϊ. Έτσι τήν καλύτερη άνάλυση συχνότητας έχει τό τετραγωνικό παράθυρο κι άκολουθούν: τριγωνικό, Hamming, Gaussian, Equiripple, Hanning, Nuttall (Marple, 1987).

Η φασματική διαρροή προκαλεϊ απόκλιση των πλατών γειτονικών περιοχών στο φάσμα του σήματος, μπορεί νά άποκρύψει άσθενείς άρμονικές και έξαρτάται από τό είδος του παραθύρου που χρησιμοποιεϊται. Μεταξύ των γνωστών παραθύρων τό τετραγωνικό παρουσιάζει τήν μεγαλύτερη διαρροή.

Τό περιοδόγραμμα της σχέσης (5.17) μπορεί νά ύπολογισθεϊ με τή βοήθεια του διακριτού μετασχηματισμού Fourier (*discrete Fourier transform*),

$$\hat{P}_{xx}\left(\frac{k}{N}\right) = \frac{T}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi \frac{k}{N} n T} \right|^2 \quad (5.19.)$$

πού είναι τό περιοδόγραμμα στίς συχνότητες $f_k = \frac{k}{N}, k = 0, 1, \dots, N-1$, ό όποϊος περιγράφει μοναδικά μιά ακολουθία δεδομένων στό πεδίο συχνοτήτων και παράλληλα μπορεϊ νά πραγματοποιηθεϊ μέ τόν γρήγορο μετασχηματισμό Fourier (fast Fourier transform, FFT). Αύξάνοντας τό μήκος τής ακολουθίας μέ προσθήκη μηδενικών (zero padding) αύξάνονται τά σημεία στό φάσμα μέ ύπολογισμό επί πλέον σημείων (παρεμβολή - interpolation).

5.3.3 Η μέθοδος Welch

Άναλυτικά ή μέθοδος Welch (Marple, 1987) έχει ως εξής :

Τό σύνολο δεδομένων N δειγμάτων διαιρεϊται σέ τμήματα μέ D δείγματα τό καθένα, και μέ όλίσθηση τοϋ κάθε τμήματος κατά S δείγματα μεταξύ γειτονικών τμημάτων. Άν τό παράθυρο είναι $w(n)$, τότε τό p -οστό τμήμα αποτελεϊται από τά δείγματα :

$$x^{(p)}(n) = w(n)x(n + pS) \quad (5.20.)$$

όπου n και p κυμαϊνονται : $0 \leq n \leq D-1$ και $0 \leq p \leq P-1$. Τότε τό φάσμα δείγματος τοϋ τμήματος, στό όποϊο έχει εφαρμοσθεϊ τό παράθυρο (μπορεϊ νά θεωρηθεϊ ότι παράγεται από τόν βραχύχρονο μετασχηματισμό Fourier), είναι :

$$\tilde{P}_{xx}^{(p)}(f) = \frac{1}{UDT} \left| T \sum_{n=0}^{D-1} x^{(p)}(n) e^{-j2\pi f n T} \right|^2 \quad (5.21.)$$

όπου έχει χρησιμοποιοηθεϊ στό φάσμα δείγματος και ή ενέργεια τοϋ διακριτοϋ παραθύρου

$$U = T \sum_{p=0}^{P-1} w^2(n) \quad (5.22.)$$

Τελικά, ό μέσος όρος τών περιοδογραμμάτων τών τμημάτων δίνει τόν εκτιμητή τοϋ Welch :

$$\hat{P}_w(f) = \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} \tilde{P}_{xx}^{(p)}(f) \quad (5.23.)$$

Ο συντελεστής U εξαλείφει τήν επίδραση τής απόκλισης τής ενέργειας παραθύρου στόν ανωτέρω εκτιμητή. Η αναμενόμενη τιμή τοϋ περιοδογράμματος τοϋ Welch μπορεϊ νά δειχθεϊ ότι είναι :

$$E\{\hat{P}_w(f)\} = P_{xx}(f) \circ |W(f)|^2 / U \quad (5.24.)$$

όπου $W(f)$ είναι ό διακριτός μετασχηματισμός Fourier τοϋ παραθύρου δεδομένων, και τό σύμβολο (\circ) δηλώνει τήν συγκερασμό (convolution) μεταξύ τής αληθινής PSD και τής $W(f)$. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier τής ανωτέρω εξίσωσης δίνει τήν αναμενόμενη τιμή τής αληθινής αυτόσυσχέτισης τοϋ περιοδογράμματος Welch,

πού αποδεικνύεται ότι είναι, για χρονική μετατόπιση $m=0$, ίση με την αληθινή αυτοσυσχέτιση. Έτσι ο $\hat{P}_w(f)$ είναι αμερόληπτος εκτιμητής της ισχύος.

Η χρήση του παραθύρου Hanning μαζί με την κατά 50% επικάλυψη φαίνεται να είναι η πιο αποδοτική πραγματοποίηση με τον FFT αλγόριθμο (Marple, 1987). Η μελέτη της τυπικής απόκλισης για Gaussian διαδικασίες του περιοδογράμματος του Welch έδειξε ότι η ελάχιστη απόκλιση παρατηρείται για επικάλυψη περίπου 65%, ενώ αυξάνει κατά 8% με χρήση της επικάλυψης κατά 50% (Proakis & Manolakis, 1992).

Τό βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου Welch είναι ότι αυτός ακριβώς ο συνδυασμός (50%, Hanning) ο οποίος χρησιμοποιεί τον γρήγορο μετασχηματισμό Fourier (FFT) για γρηγορότερη επεξεργασία στον υπολογιστή. Στην παρούσα εργασία, πέρα από την απαίτηση για συντομότερη επεξεργασία, επειδή η μέθοδος Welch παρήγαγε πιο λειασμένα φάσματα λόγω της ελαττωμένης διακύμανσής της, θά ήταν ευκολότερη η όπτική ανίχνευση των «χονδρικών» κορυφών του φάσματος, δηλαδή των φωνοσυντονισμών. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε σαν στοιχείο ελέγχου της παρουσίας ή μη κάποιου φωνοσυντονισμού σε μία περιοχή συχνοτήτων.

5.3.4 Άλλες μη παραμετρικές μέθοδοι

Λαμβάνοντας υπόψιν τό μοντέλο παραγωγής της φωνής, πηγή - φίλτρο, και επιδιώκοντας να εκτιμηθεί ή περιβάλλουσα του φάσματος του σήματος όμιλίας, αφού δέν ενδιαφέρει την παρούσα εργασία ή φωνητική πηγή, είναι επιθυμητό να διαχωρίσουμε την επίδραση της πηγής από εκείνης της φωνητικής όδου στό σήμα όμιλίας. Η εκτίμηση της περιβάλλουσας του φάσματος του σήματος όμιλίας μπορεί να γίνη με *ομομορφικό αποσυγκερασμό* (*homomorphic deconvolution*), ο όποιος πραγματοποιείται με την χρήση του *cepstrum*. Η ανάλυση με βάση τό *cepstrum* (*cepstral analysis*) γίνεται σε διαδοχικά στάδια, τά όποια περιλαμβάνουν 1) εφαρμογή παραθύρου στό σήμα όμιλίας, 2) εύρεση του διακριτού μετασχηματισμού Fourier, 3) υπολογισμός του λογαρίθμου του DFT, και 4) εύρεση του αντίστροφου μετασχηματισμού Fourier IDFT, όποτε προκύπτει τό *cepstrum*. Για τόν τελικό διαχωρισμό της περιβάλλουσας εφαρμόζεται στό *cepstrum* κατάλληλο χαμηλού χρόνου *lifering* και στή συνέχεια πάλι DFT (Deller, J., 1993). Οι φωνοσυντονισμοί εκτιμώνται από τό φάσμα της περιβάλλουσας με απλή συλλογή των κορυφών (*peak picking*).

Άλλοι τρόποι εκτίμησης βασίζονται στις *τράπεζες φίλτρων* (*filter banks*) οι όποιες πραγματοποιούνται είτε με σειρά ψηφιακών φίλτρων είτε με χρήση του FFT. Σε μία τέτοια τράπεζα φίλτρων, ή περιοχή συχνοτήτων πού μās ενδιαφέρει διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων, πού αν είναι ίσου εύρους ή τράπεζα λέγεται ομοιόμορφη ενώ αν ακολουθούν λογαριθμική μεταβολή μεταξύ τους ή την κλίμακα *mel* πού ακολουθεϊ τό σύστημα κρισίμων ζωνών της ακοής (Rabiner & Schafer, 1978), ή τράπεζα λέγεται ανομοιόμορφη. Με επιλογή κατάλληλων εύρων ζωνών (περίπου 300Hz, για ομοιόμορφη τράπεζα φίλτρων) προκύπτει φάσμα με πλατειές κορυφές, οι όποιες αντιστοιχούν στους φωνοσυντονισμούς (Gold & Morgan, 2000).

Οι άνωτέρω μέθοδοι ανάλυσης βασίζονται στό πεδίο συχνοτήτων ενώ υπάρχουν κι άλλες μέθοδοι πού εργάζονται στό χρονικό πεδίο πού δέν χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή την εργασία.

5.4 Παραμετρική φασματική εκτίμηση

5.4.1 Εισαγωγή

Ενῶ ἡ μὴ παραμετρικὴ φασματικὴ ἐκτίμηση βασίζεται στὴν ὑπόθεση ὅτι ἡ αὐτοσυσχέτιση εἶναι μηδενικὴ γιὰ μετατόπιση μεγαλύτερη τοῦ μήκους τῆς χρονικῆς ἀκολουθίας τοῦ σήματος ἡ παραμετρικὴ φασματικὴ ἐκτίμηση δὲν τὴν θεωρεῖ μηδενικὴ ἀλλὰ «προσθέτει» (extrapolate) τιμές χρησιμοποιῶντας κάποια πληροφορία γιὰ τὸν τρόπο πού παράγεται αὐτὴ ἡ χρονικὴ ἀκολουθία. Σ' αὐτὴ τὴν περίπτωση μπορεῖ νὰ κατασκευασθεῖ ἓνα μοντέλο παραγωγῆς σήματος ἀποτελούμενο ἀπὸ ἓνα ἀριθμὸ παραμέτρων πού ἐκτιμῶνται ἀπὸ τὴν χρονικὴ ἀκολουθία τοῦ σήματος. Μετά, ἀπὸ τὸ εἶδος τοῦ μοντέλου καὶ τίς παραμέτρους πού ἐκτιμήθηκαν ὑπολογίζεται ἡ PSD. Ἔτσι οἱ παραμετρικὲς μέθοδοι ἐπιτυγχάνουν καλύτερη φασματικὴ διακριτικὴ ικανότητα ἐπειδὴ περιορίζουν τὴν ἀνάγκη τῆς χρήσης παραθύρων οὔτε θεωροῦν τὴν αὐτοσυσχέτιση μηδενικὴ γιὰ μηδενικὲς μετατοπίσεις καὶ παράλληλα ἀποφεύγουν τὸ πρόβλημα τῆς φασματικῆς διαρροῆς (Proakis & Manolakis, 1992). Γιὰ τοὺς ἀνωτέρω λόγους ἐφαρμόζονται σὲ μικρὲς ἀκολουθίες δεδομένων πού διαμορφώνονται σὲ φαινόμενα χρονικὰ μεταβαλλόμενα ἔτσι ὥστε νὰ μελετηθεῖ ἡ ἐξελιγὴ τους μέ λεπτομέρεια.

Γενικά, ἡ ἀκολουθία τῶν δεδομένων $x(n)$ μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ὅτι παράγεται ἀπὸ ἓνα γραμμικὸ σύστημα τῆς μορφῆς

$$x(n) = -\sum_{k=1}^p a(k)x(n-k) + \sum_{k=0}^q b(k)u(n-k) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)u(n-k) \quad (5.25.)$$

ἂν διεγερθεῖ ἀπὸ τὴν ἀκολουθία λευκοῦ θορύβου $u(n)$ ἡ ὁποία ὑποτίθεται ὅτι εἶναι μηδενικοῦ μέσου ὁρου. Ἄν θεωρηθεῖ ἡ $x(n)$ στάσιμη τυχαία διαδικασία τότε ἡ πυκνότητα φάσματος ἰσχύος βρίσκεται ὅτι εἶναι

$$P_{xx}(f) = \frac{T\rho_w |B(f)|^2}{|A(f)|^2} \quad (5.26.)$$

ὅπου ρ_w εἶναι ἡ διακύμανση, T τὸ χρονικὸ διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικῶν δειγμάτων τῆς χρονικῆς ἀκολουθίας δεδομένων καὶ τὰ πολυώνυμα $B(f)$ καὶ $A(f)$ εἶναι

$$\begin{aligned} A(f) &= 1 + \sum_{k=1}^p a(k)e^{-j2\pi kfT} \\ B(f) &= 1 + \sum_{k=0}^q b(k)e^{-j2\pi kfT} \end{aligned} \quad (5.27.)$$

Ἄν $p=0$ τὸ μοντέλο λέγεται διαδικασίας κινητοῦ μέσου ὁρου MA (Moving Average), ἂν $q=0$ λέγεται αὐτοπαλινδρομικῆς διαδικασίας AR (Autoregressive), καὶ ἂν $p \neq 0 \wedge q \neq 0$ λέγεται αὐτοπαλινδρομικῆς - κινητοῦ μέσου ὁρου διαδικασίας ARMA (Autoregressive - Moving Average) μοντέλο. Ὅλα αὐτὰ τὰ μοντέλα ὁδηγοῦνται

από διαδικασίες λευκού θορύβου και έχουν κλασματικές (rational) εξισώσεις συστήματος.

5.4.2 Τό μοντέλο AR

Από τα ανωτέρω μοντέλα το AR είναι αυτό που χρησιμοποιείται ευρύτερα, για δύο λόγους. Πρώτον, επειδή είναι κατάλληλο να παραστήσει φάσματα με όξεις κορυφές και δεύτερον, επειδή καταλήγει στην επίλυση απλών γραμμικών εξισώσεων για την εύρεση των παραμέτρων του.

5.4.2.1 Ορισμός του μοντέλου AR και η εξίσωση φάσματος

Αν στην σχέση 5.26 οι συντελεστές $b(k)$ είναι μηδενικοί εκτός του $b(0)$ ο οποίος τίθεται ίσος με την μονάδα προκύπτει η εξίσωση διαφορών (difference equation)

$$x(n) = -\sum_{k=1}^p a(k)x(n-k) + u(n) \quad (5.28.)$$

όπου η $x(n)$ είναι η στάσιμη τυχαία διαδικασία - έξοδος του αιτιατού φίλτρου, που μοντελοποιεί τα παρατηρούμενα δεδομένα σύμφωνα με το μοντέλο AR, και η $u(n)$ είναι η οδηγούσα διαδικασία λευκού θορύβου. Για το μοντέλο AR, η σχέση της φασματικής πυκνότητας ισχύος 5.26 γίνεται

$$P_{AR}(f) \equiv P_{xx}(f) = \frac{T p_w}{|A(f)|^2} \quad (5.29.)$$

όπου

$$A(f) = 1 + \sum_{k=1}^p a(k)e^{-j2\pi f k T} \quad (5.30.)$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών $a(k)$ γίνεται με διαφόρους μεθόδους και ανάλογα με το αν οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν αλγόριθμους για επεξεργασία ακολουθιακών δεδομένων ή ομάδων δεδομένων. Η κατηγορία των αλγόριθμων για επεξεργασία ομάδων δεδομένων (block data algorithms) περιλαμβάνει επίσης, διάφορες τεχνικές υπολογισμού των παραμέτρων του μοντέλου AR, οι οποίες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Μία κατηγορία αλγορίθμων είναι η μέθοδος Yule - Walker (Marple, 1987) η οποία εκτιμά τις παραμέτρους από την ακολουθία της αυτοσυσχέτισης που προκύπτει από τα δεδομένα. Μία άλλη κατηγορία περιλαμβάνει τον αλγόριθμο του Burg (Marple, 1987) που είναι μία άλλη τεχνική, μεταξύ άλλων, εκτίμησης των παραμέτρων AR από την ακολουθία των συντελεστών ανάκλασης (reflection coefficients).

Μία τρίτη σημαντική κατηγορία βασίζεται στην γραμμική πρόβλεψη με ελάχιστα τετράγωνα (least squares linear prediction) (Childers, 2000). Από αυτές άλλες μέθοδοι κάνουν ελαχιστοποίηση των επρόσθιων και αναδρομικών τετραγωνικών σφαλμάτων γραμμικής πρόβλεψης είτε χωριστά (αυτοσυσχέτιση, συνδιακύμανση) είτε και προς τις δύο κατευθύνσεις συνδυασμένα. Αυτή η τελευταία μέθοδος της

συνδυασμένης ελαχιστοποίησης των επρόσθιων και αναδρομικών τετραγωνικών σφαλμάτων αποτελεί τήν μέθοδο της τροποποιημένης συνδιακύμανσης (*modified covariance*), ή όποια θα περιγραφεί στη συνέχεια.

5.4.2.2 Τό μοντέλο AR και η γραμμική πρόβλεψη

Θεωρώντας την ακολουθία δεδομένων $x(1), \dots, x(N)$ τότε ο εκτιμητής της εμπρόσθιας γραμμικής πρόβλεψης (*forward linear predictor*) $\hat{x}^f(n)$ ορίζεται

$$\hat{x}^f(n) = -\sum_{k=1}^p a^f(k)x(n-k) \quad (5.31.)$$

όπου γίνεται εκτίμηση του n -οστού δείγματος, $x(n)$, από τα p προηγούμενα στον χρόνο δείγματα, πολλαπλασιασμένα με τους συντελεστές $a^f(k)$. Έτσι υπάρχει ένα σφάλμα πρόβλεψης μεταξύ της αληθινής και εκτιμημένης τιμής για το n οστό δείγμα :

$$e^f(n) = x(n) - \hat{x}^f(n) = x(n) + \sum_{k=1}^p a^f(k)x(n-k) \quad (5.32.)$$

μέ πραγματική διακύμανση

$$\rho^f = E\{|e^f(n)|^2\} \quad (5.33.)$$

όπου, αν γίνει η υπόθεση ότι η $x(n)$ είναι WSS τότε το διάνυσμα των συντελεστών πρόγνωσης a^f , που ελαχιστοποιούν την διακύμανση, προκύπτει απ' την λύση των κανονικών εξισώσεων (*Yule - Walker*) (Proakis - Manolakis, 1992).

$$\begin{bmatrix} r_{xx}(0) & r_{xx}(-1) & \cdots & r_{xx}(-p) \\ r_{xx}(1) & r_{xx}(0) & \cdots & r_{xx}(-(p-1)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{xx}(p) & r_{xx}(p-1) & \cdots & r_{xx}(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^f(1) \\ \vdots \\ \alpha^f(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho^f \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.34.)$$

όπου

$$r_{xx}(p) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1-|p|} x(k)x(k+|p|) \quad (5.35.)$$

Ο εκτιμητής του αναδρομικού σφάλματος γραμμικής πρόβλεψης είναι :

$$\hat{x}^b(n) = -\sum_{k=1}^m a^b(k)x(n+k) \quad (5.36.)$$

όπου γίνεται πρόβλεψη του αναδρομικού στον χρόνο δείγματος $\hat{x}^b(n)$ με γραμμικό συνδυασμό των επόμενων m δειγμάτων. Τό αναδρομικό σφάλμα πρόβλεψης είναι:

$$e^b(n) = x(n-m) - \hat{x}^b(n-m) \quad (5.37.)$$

στό οποίο τέθηκε $n-m$ αντί για n , για να αναφερόμαστε ενιαία και προς τις δύο κατευθύνσεις πρόγνωσης για τό ίδιο σύνολο δεδομένων. Η διακύμανση του αναδρομικού σφάλματος πρόβλεψης είναι :

$$\rho^b = E\{|e^b(n)|^2\} \quad (5.38.)$$

Σημειώνουμε ότι οι δύο διακυμάνσεις, προς τά εμπρός και προς τά πίσω, είναι ταυτόσημες, ενώ οι συντελεστές του αναδρομικού σφάλματος είναι οι συζυγείς μιγαδικοί του εμπρόσθιου σφάλματος, με την προϋπόθεση ότι να είναι ή διαδικασία στάσιμη, και τά δύο φίλτρα έχουν τό ίδιο μήκος, $m=p$.

Αν συγκρίνουμε την εξίσωση του μοντέλου AR (5.28) με την εξίσωση εμπρόσθιου σφάλματος γραμμικής πρόβλεψης (5.32) παρατηρούμε ότι γίνονται ταυτόσημες μόνο αν ή ακολουθία σφαλμάτων γραμμικής πρόβλεψης $e^f(n)$ είναι τυχαία λευκή διαδικασία, ή οποία είναι ασυσχέτιστη (uncorrelated) με τόν εκτιμητή γραμμικής πρόβλεψης $\hat{x}^f(n)$, όμως, γενικά, δέν είναι λευκή διαδικασία, εκτός εάν ή ακολουθία $x(n)$ έχει παραχθεϊ σαν διαδικασία AR (Marple, 1987). Αν ή $e^f(n)$ θεωρηθεϊ λευκή διαδικασία τότε οι παράμετροι του μοντέλου AR είναι ίδιες με τούς συντελεστές γραμμικής πρόβλεψης.

5.4.2.3 Η μέθοδος εκτίμησης των παραμέτρων AR (modified covariance)

Θεωρώντας την ακολουθία δεδομένων $x(1), \dots, x(N)$, θά εκτιμηθοῦν οι παράμετροι της ακολουθίας $x(n)$, αν θεωρηθεϊ στάσιμη και ότι παράγεται από φίλτρο AR, πού διεγείρεται από τυχαία διαδικασία λευκού θορύβου. Γι' αυτόν τόν σκοπό θεωρούμε φίλτρο γραμμικής πρόβλεψης πού διεγείρεται απ' την διαδικασία $x(n)$ και παράγει τό σφάλμα γραμμικής πρόβλεψης e_p , πού είναι μιά λευκή (Whitened) διαδικασία, επιτρέποντας έτσι την εξίσωση των συντελεστών AR με τούς συντελεστές γραμμικής πρόβλεψης.

Αν ληφθεϊ υπόψιν ότι οι αυτοπαλινδρομικοί συντελεστές της αναδρομικής γραμμικής πρόβλεψης και της εμπρόσθιας είναι μεταξύ τους συζυγείς μιγαδικοί, όπως αναφέρθηκε πρίν, τότε τό αναδρομικό σφάλμα γραμμικής πρόβλεψης γράφεται

$$e_p^b(n) = x(n-p) - \sum_{k=1}^p a_p^{f*}(k)x(n-p+k) \quad (5.39.)$$

Στήν μέθοδο της τροποποιημένης συνδιακύμανσης χρησιμοποιεϊται ένας συνδυασμός των στατιστικών πληροφοριών των εμπρόσθιων και αναδρομικών σφαλμάτων με σκοπό να παραχθοῦν περισσότερα σημεία σφαλμάτων.

Συνδυάζοντας, λοιπόν, τὰ σφάλματα προκύπτει ἡ ἐξίσωση (Marple, 1987)

$$\begin{bmatrix} e_p^f(p+1) \\ e_p^f(N-p) \\ e_p^f(N) \\ e_p^{b*}(1) \\ e_p^{b*}(N-p) \\ e_p^{b*}(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(p+1) & \cdots & x(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N-p) & \cdots & x(p+1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N) & \cdots & x(N-p) \\ x^*(1) & \cdots & x^*(p+1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x^*(p+1) & \cdots & x^*(N-p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x^*(N-p) & \cdots & x^*(N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a(1) \\ \vdots \\ a(p) \end{bmatrix} \quad (5.40.)$$

μέ ἐνιαῖο σύνολο συντελεστῶν καί γιά τίς δύο κατευθύνσεις. Ἡ ἐλαχιστοποίηση ὡς πρὸς ὅλες τίς παραμέτρους τοῦ μέσου ὁρου τῶν τετραγώνων τῶν σφαλμάτων :

$$\rho_p^{fb} = \frac{1}{2} \left[\sum_{n=p+1}^N |e_p^f(n)|^2 + \sum_{n=p+1}^N |e_p^{b*}(n)|^2 \right] \quad (5.41.)$$

ὁδηγεῖ στὴν ὁμάδα κανονικῶν ἐξισώσεων (Marple, 1987) :

$$R_p \begin{bmatrix} 1 \\ a_p(1) \\ \vdots \\ a_p(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\rho_p^{fb} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.42.)$$

ὅπου $R_p(p+1, p+1)$, εἶναι πῖνακας μέ στοιχεῖα τῆς μορφῆς :

$$r_p(i, j) = \sum_{n=p+1}^N (x^*(n-i)x(n-j) + x(n-p+i)x^*(n-p+j)) \quad (5.43.)$$

ὅπου, ἐπειδὴ στὴν μέθοδο αὐτὴ γίνεται ἐλαχιστοποίηση τῶν τετραγωνικῶν σφαλμάτων στὴν ἴδια περιοχὴ τιμῶν τοῦ n , ὅπως καί στὴν μέθοδο τῆς συνδιακύμανσης (Marple, 1987), γι' αὐτὸ ἡ μέθοδος αὐτὴ καλεῖται *τροποποιημένη συνδιακύμανση* (modified covariance).

Ἡ μέθοδος δέν ἐγγυᾶται εὐσταθές φίλτρο, ἂν καί τίς πιό πολλές φορές δίνει σταθεροὺς πόλους, δέν παρουσιάζει *διαχωρισμό φασματικῶν γραμμῶν* (spectral line splitting), δηλαδή δέν ἐμφανίζει δύο φασματικές γραμμὲς ἐκεῖ πού ἀναμένεται μόνο μία φασματικὴ γραμμὴ, σέ ἀντίθεση μέ ἄλλες μεθόδους. Ἀκόμη δέν ἐμφανίζει *τυχαῖες κορυφές* (spurious peaks) ἐκεῖ πού δέν θά ἔπρεπε νά ὑπάρχουν, γιὰ κανονικὲς τιμές τάξης μοντέλου, καί ταυτόχρονα δέν ἐπιρρεάζεται ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ φάση τῶν ἡμιτονοειδῶν, οἱ ὅποῖες περιέχονται στό σῆμα (Marple, 1987). Ἡ μέθοδος τῆς τροποποιημένης συνδιακύμανσης τείνει νά ἔχει τὴν μικρότερη διακύμανση στὴν PSD ἀπὸ ὅλες τίς μεθόδους AR (Nuttall, 1976) καθὼς καί τὴν

μικρότερη διακύμανση στη συχνότητα όταν δοκιμάζεται με μή ήμιτονοειδείς διαδικασίες, γι' αυτό και την χρησιμοποιήσαμε σαν μέθοδο ύψλης ανάλυσης.

Η διακύμανση του φασματικού εκτιμητή AR είναι αντιστρόφως ανάλογη και με το μήκος της ακολουθίας δεδομένων και με το τετράγωνο του πηλίκου ΣΠΘ, για ήμιτονοειδείς σε θόρυβο (Sakai, 1979) ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος της ακολουθίας δεδομένων και το πηλίκο ΣΠΘ, για μή ήμιτονοειδείς διαδικασίες (Keeler, 1978).

Η φασματική διακριτική ικανότητα του εκτιμητή AR της PSD για τυχαίες διαδικασίες που αποτελούνται από ήμιτονοειδείς συνιστώσες με λευκό θόρυβο, είναι συνάρτηση του πηλίκου σήμα προς θόρυβο (ΣΠΘ) με αύξησή της καθώς το ΣΠΘ αυξάνει (Marple, 1987). Η μέθοδος αποτυγχάνει όταν επιχειρεί να αναλύσει σήματα που περιέχουν μεγάλες συνεχείς συνιστώσες (DC) ή γραμμικές τάσεις (linear trends) ιδιαίτερα στην άκρη της χαμηλής περιοχής συχνοτήτων (Kane & Trivedi, 1979). Γι' αυτό είναι απαραίτητο να απαλειφθούν τυχόν συνεχείς συνιστώσες του σήματος πριν την ανάλυση μέσω της μεθόδου AR.

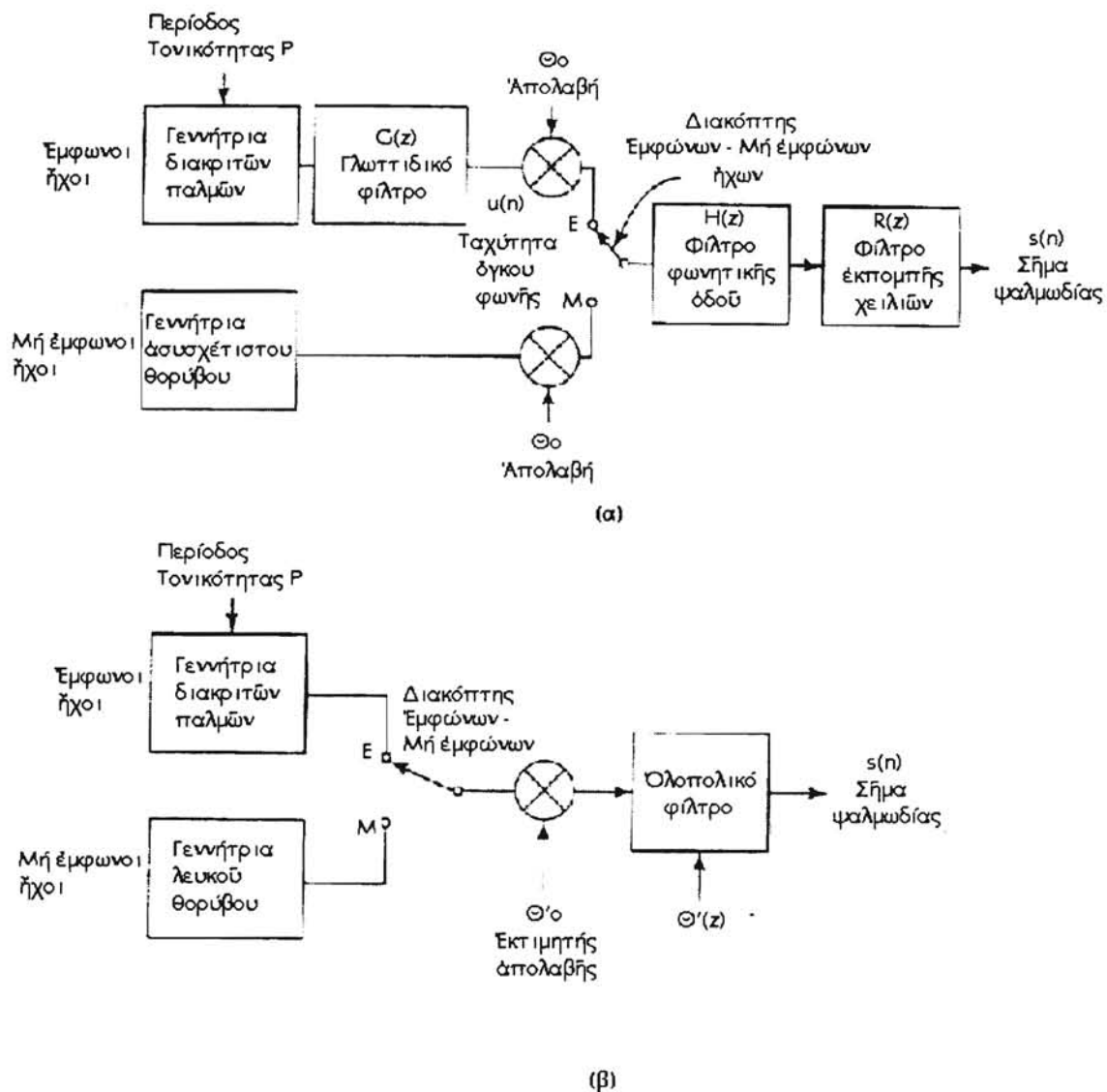
Η φασματική ανάλυση βάσει του μοντέλου AR χρησιμοποιείται συχνά για την ανίχνευση ήμιτονοειδών συνιστωσών μέσα στο σήμα. Η ισχύς κάθε συνιστώσας υπολογίζεται με ολοκλήρωση της φασματικής περιοχής κάτω από την PSD γύρω από την κορυφή της ήμιτονοειδούς συνιστώσας. Αυτό γίνεται επειδή τα ύψη των κορυφών των συνιστωσών δεν είναι ανάλογα των ισχύων τους στην PSD με AR, όπως είναι στην PSD με τους κλασσικούς εκτιμητές (Marple, 1987).

Η επιλογή της τάξης του μοντέλου AR γίνεται μάλλον εμπειρικά αν και υπάρχουν διάφορα κριτήρια επιλογής (Akaike, 1969, Akaike, 1974, Parzen, 1974) επειδή τα δεδομένα δεν μπορούν να παραχθούν ακριβώς με μία διαδικασία AR. Μία τιμή τάξης περίπου ίση με $N/3$ έως $N/2$, όπου N το μήκος της ακολουθίας δεδομένων, παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την μέθοδο της τροποποιημένης συνδιακύμανσης και αρμονικές διαδικασίες (Ullrich & Ooe, 1983). Προφανώς αν η τάξη του μοντέλου επιλεγεί χαμηλή ή PSD εμφανίζεται πολύ λειασμένη, πράγμα το οποίο βοηθά στην εκτίμηση των «χονδρικών» κορυφών του φάσματος και επομένως των φωνοσυντονισμών. Η τάξη μοντέλου επιλέγεται τότε με σύγκριση της PSD βάσει του AR με την PSD άλλων εκτιμητών, όπως θα γίνει φανερό στη συνέχεια.

5.4.2.4 Η εφαρμογή του μοντέλου AR στην εκτίμηση των φωνοσυντονισμών

Η εφαρμογή του μοντέλου AR στην φασματική ανάλυση των σημάτων όμιλίας και, επομένως, της τραγουδιστικής φωνής, είναι απαραίτητη λόγω της ιδιότητάς του να παρέχει καλή φασματική εκτίμηση για σύντομες ακολουθίες δεδομένων. Έτσι η φασματική ανάλυση μπορεί να εφαρμοσθεί σε διαδοχικές ακολουθίες δεδομένων, οι οποίες εξάγονται από ένα σήμα ψαλμωδίας μεγάλου μήκους, παρέχοντας την εξέλιξη των χαρακτηριστικών του φάσματος μέσα στον χρόνο.

Τό ανθρώπινο φωνητικό σύστημα προσομοιώνεται με ένα μοντέλο παραγωγής της φωνής του σχήματος (5.1), όπου, για τους έμφωνους ήχους, μία γεννήτρια σειριακών περιοδικών μοναδιαίων παλμών διεγείρει ένα γλωττιδικό φίλτρο $G(z)$, του οποίου η έξοδος εισέρχεται στο φίλτρο - μοντέλο της φωνητικής οδού $V(z)$ και αφού διαμορφωθεί στο φίλτρο εκπομπής $R(z)$, που προσομοιώνει την λειτουργία



Σχήμα 5.1 Τό μοντέλο παραγωγής όμιλίας - ψαλμωδίας διακριτού χρόνου. α) Τό πλησιέστερο στο φυσικό μοντέλο καί β) τό μοντέλο πού εκτιμάται μέ ανάλυση γραμμικής πρόβλεψης (LP) (12).

τῶν χειλιῶν, τελικά παράγεται τό σήμα φωνῆς (Deller, 1993). Γιά τούς ἄφωνους ἤχους, ἡ διέγερση τοῦ φίλτρου τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ γίνεται ἀπό γεννήτρια θορύβου. Τό γλωττιδικό φίλτρο ἔχει συνάρτηση μεταφορᾶς μέ δύο πόλους ἢ ἴσως τρεῖς (Childers, 1995), τό μοντέλο φωνητικῆς ὁδοῦ προσομοιώνεται μέ φίλτρο πού ἔχει μόνο πόλους (all pole) ἐνῶ θά ἔπρεπε νά περιέχει καί μηδενικά λόγω τῆς ἀπώλειας ἐνέργειας μέσα στή ρινική ὁδό (Flanagan, 1972). Ἐπειδή, ὅμως, δέν ἐνδιαφέρει ἡ ἀλλοίωση τῆς φάσης ἀφοῦ ἡ ἀκοή εἶναι ἀναίσθητη σ' αὐτήν, ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ συνάρτηση μεταφορᾶς τοῦ φίλτρου μπορεῖ νά γραφεῖ σάν γινόμενο δύο συναρτήσεων μεταφορᾶς, ἓνα ὀλικῆς διέλευσης (all pass) καί ἓνα ἐλάχιστης φάσης μόνο μέ πόλους (Deller, 1993). Τέλος τό φίλτρο ἐκπομπῆς περιέχει ἓνα μηδενικό στή

συνάρτηση μεταφοράς του (Rabiner & Schafer, 1978), τό οποίο ισοδυναμεί με διαφόριση στο πεδίου του χρόνου. Είναι δυνατόν με αύξηση της τάξης του μοντέλου να προσεγγισθεί τό φίλτρο της φωνητικής όδοϋ με ένα φίλτρο μόνο πόλων (Deller, 1993). Στην παρούσα έρευνα έπειδή ένδιέφεραν μόνο οι φωνοσυντονισμοί της φωνητικής όδοϋ καί μόνο για έμφωνους ήχους, όπου έλαχιστοποιείται ή επίδραση της ρινικής όδοϋ, χρησιμοποιήθηκε τό μοντέλο AR με κατάλληλο αριθμό πόλων.

Η μέθοδος πού χρησιμοποιήθηκε για την έκτίμηση των παραμέτρων AR είναι ή μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, ή οποία έχει ως εξής : Έλαχιστοποιώντας την διακύμανση του τετραγωνικού σφάλματος $e^f(n)$, πού δίνεται από την σχέση 5.33, για όλόκληρο τό μήκος της ακολουθίας $x(n)$, δηλαδή, από 0 μέχρι N-1, προκύπτουν οι κανονικές εξισώσεις ή εξισώσεις Yule - Walker της σχέσης 5.34. Η αναδρομική επίλυση αυτών των εξισώσεων με τη βοήθεια του αλγορίθμου του Levinson (Marple, 1987), όπως έχει τροποποιηθεί από τον Robinson (1967) καταλήγει στην εύρεση των παραμέτρων του φίλτρου AR (Markel, 1972).

Η άνωτέρω μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων λέγεται μέθοδος της αυτοσυσχέτισης (Markel, 1976) καί παράγει εύσταθές φίλτρο, δηλαδή έχοντας τους πόλους μέσα στον μοναδιαίο κύκλο στο μιγαδικό επίπεδο. Έπειδή τά δεδομένα είναι πραγματικοί αριθμοί, οι πόλοι του εμφανίζονται κατά συζυγή ζεύγη, όπου αν ο αριθμός τους είναι άρτιος, οι μισοί πόλοι βρίσκονται στο επάνω μισό του μιγαδικού επιπέδου καί οι άλλοι μισοί στο κάτω μισό χωρίς να αποκλείεται κάποια ζεύγη να τοποθετούνται επάνω στον άξονα των πραγματικών αριθμών. Αν ο αριθμός των πόλων είναι περιττός τότε τουλάχιστον ένα ζεύγος πόλων βρίσκεται πάνω στον πραγματικό άξονα (Childers, 2000). Η μέθοδος της αυτοσυσχέτισης της γραμμικής πρόβλεψης διά μέσου των ελαχίστων τετραγώνων είναι ισοδύναμη με τη μέθοδο έκτίμησης Yule - Walker των παραμέτρων AR όταν χρησιμοποιείται ο μεροληπτικός (biased) εκτιμητής της αυτοσυσχέτισης (Marple, 1987).

Μιά διαφορετική μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, πού λέγεται μέθοδος της συνδιακύμανσης (covariance), εφαρμόζεται επίσης για την έκτίμηση του φίλτρου της φωνητικής όδοϋ. Η διαφορά από την προηγούμενη μέθοδο της αυτοσυσχέτισης είναι ότι τό τετραγωνικό σφάλμα ελαχιστοποιείται για ένα τμήμα του μόνο, δηλαδή, από την τάξη μοντέλου m μέχρι N-1 (Markel, 1976). Η επίλυση των εξισώσεων, πού προκύπτουν, κατορθώνεται με τον αλγόριθμο Cholesky ή άλλες μεθόδους ενώ τό φίλτρο πού προκύπτει δέν είναι εύσταθές εφόσον έχει τους πόλους του εκτός του μοναδιαίου κύκλου στο μιγαδικό επίπεδο. Ο φασματικός εκτιμητής πού προκύπτει με τη μέθοδο της συνδιακύμανσης εμφανίζει, συνήθως, μικρότερη διακύμανση καί απόκλιση από ότι ο αντίστοιχος με τη μέθοδο της αυτοσυσχέτισης (Marple, 1987, Childers, 2000).

Οι δύο παραπάνω μέθοδοι φασματικής έκτίμησης των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιούνται, με χαμηλή τάξη μοντέλου, μόνο για την έκτίμηση της φασματικής περιβάλλουσας του σήματος όμιλίας αφοϋ καί οι δύο μέθοδοι δέν δίνουν καλή έκτίμηση των ήμιτονοειδών συνιστωσών έπειδή εμφανίζουν (σε μεγαλύτερες τάξεις μοντέλου) διαχωρισμό φασματικών γραμμών (line splitting) καί τυχαίες κορυφές (spurious peaks) (Marple, 1987) με χειρότερη μέθοδο εκείνη της αυτοσυσχέτισης. Η μέθοδος της αυτοσυσχέτισης χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή για την ανίχνευση (τροχιές) των φωνοσυντονισμών έπειδή είναι ταχύτερη από την μέθοδο της συνδιακύμανσης με μικρή διαφορά στην ακρίβεια απ' αυτήν, ενώ ταυτόχρονα είναι ή μέθοδος πού μελετήθηκε από τον Markel (1972), ως προς την τάξη του μοντέλου, την χρήση παραθύρου καθώς καί τό είδος της προέμφασης στο σήμα. Με

τήν προέμφραση του σήματος (συνήθως κατά 6dB ανά οκτάβα) δίνεται έμφραση στους ύψηλότερους φωνοσυντονισμούς ένω αποφεύγονται προβλήματα από ίσχυρότατες θεμελιώδεις, καί μειώνεται ή τάση νά έμφανισθεῖ ό FFT του παραθύρου στήν χαμηλή ζώνη του φάσματος. Μέ τήν έφαρμογή του παραθύρου Hanning ή Hamming, περιορίζονται τά μηδενικά από τόν DFT του παραθύρου. Ή τάξη του μοντέλου είναι συνάρτηση του ρυθμού δειγματοληψίας F_s , έτσι ώστε για $6 \leq F_s \leq 18kHz$, πρέπει

$$M = F_s + \gamma \quad (5.44.)$$

όπου ή παράμετρος γ παίρνει τιμές μεταξύ 4 καί 5 για τήν πιο ίκανοποιητική ανάλυση, για έμφωνους ήχους.

Τέλος, ή μέθοδος τής τροποποιημένης συνδιακύμανσης εφαρμόσθηκε μέ ύψηλή τάξη μοντέλου (45-50) για τήν παρακολούθηση των αρμονικών συνιστωσών μέσα στο σήμα ψαλμωδίας αλλά καί μέ χαμηλή τάξη μοντέλου (12-13) για τόν ύπολογισμό τής περιβάλλουσας του φάσματος σέ συνεκτίμηση μέ τίς προηγούμενες μεθόδους φασματικής ανάλυσης.

5.5 Μεθοδολογία τής ανάλυσης

Πρίν αναφερθεῖ ή μεθοδολογία πού χρησιμοποιήθηκε για τήν ανάλυση είναι απαραίτητο νά όρισθοῦν κάποιες έννοιες οι όποῖες χρησιμοποιοῦνται στή συνέχεια. Έφόσον από τό ήχητικό υλικό αναλύθηκαν κάποια ψηφιοποιημένα «τμήματά» του κατάλληλα επιλεγμένα, μόνο, κι όχι όλόκληρο τό υλικό, στο έξῆς θά αναφερόμαστε σ' αυτά μέ τόν όρο ψαλτικά ακούσματα ή ψαλτικά δείγματα. Δεδομένου ότι κάθε ψαλτικό δείγμα αποτελείται από πέντε ακολουθίες δεδομένων, μία για κάθε φωνήεν, θά χρησιμοποιοῦμε για αυτές τόν όρο ακολουθίες δεδομένων φωνήεντος ή απλά ακολουθίες φωνήεντος. Ακόμα, αφού κάθε ψαλτικό δείγμα υποδιαιρέθηκε περαιτέρω, για τίς μεθόδους τής ανάλυσης, σέ ακολουθίες δεδομένων αποτελούμενες από συνεχή στόν χρόνο δείγματα, θά αναφερόμαστε σ' αυτές μέ τόν όρο ακολουθίες δεδομένων ή απλά ακολουθίες.

5.5.1 Καθορισμός των δεδομένων

Τά ψαλτικά δείγματα του ήχητικού υλικού ψηφιοποιήθηκαν αρχικά μέ τόν ρυθμό δειγματοληψίας των 10000Hz, δηλαδή μέ μέγιστο εύρος ζώνης συχνοτήτων, περίπου 5kHz αφού προηγουμένως περιορίσθηκε τό εύρος ζώνης τους μέχρι τά 4,7kHz μέ τήν έφαρμογή αναλογικού φίλτρου προς αποφυγή του φαινομένου τής αναδίπλωσης (aliasing). Τό εύρος ζώνης του αναλογικού φίλτρου ήταν τό έλλειπτικό φίλτρο Rocland τύπου 841, χαμηλής διέλευσης μέ συχνότητα αποκοπής 4,7kHz καί απόσβεση 48dB ανά οκτάβα. Αφού είναι γνωστό ότι τό εύρος ζώνης του φάσματος των έμφωνων ήχων, οι όποῖοι αναλύθηκαν (δηλ. μόνο φωνήεντα), περιορίζεται μέχρι τά 4kHz (Rabiner & Schafer, 1978), εφαρμόσθηκε στο ψηφιοποιημένο σήμα τής ψαλμωδίας ψηφιακό φίλτρο (Butterworth χαμηλής ζώνης διέλευσης τάξης 10 καί συχνότητας αποκοπής 4120Hz) περίπου στά 4kHz, επειδή ή μελέτη ασχολήθηκε μέ τούς πρώτους 4 ή 5 φωνοσυντονισμούς, οι όποῖοι δέν ξεπερνούν τά 4kHz, για ανδρική φωνή. Έτσι, έλλαττώθηκε ό ρυθμός δειγματοληψίας στά 8192Hz μέ κατάλληλη μέθοδο ύποδειγματοληψίας (downsampling) (Proakis & Manolakis, 1992).

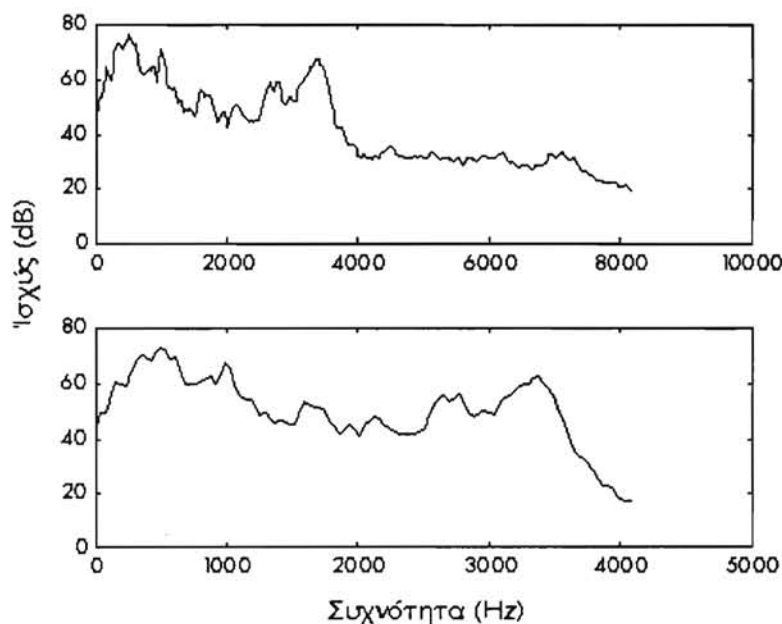
Γιά τυχόν θόρυβο, πού πιθανώς υπήρχε στα ήχογραφημένα αποσπάσματα, μετρήθηκε στο ψηφιοποιημένο σήμα, για έναν έμφωνο ήχο, το φάσμα του επιλεγμένο από την ίδια ήχογράφηση στα σημεία «σιωπής» και συγκρίθηκε η ισχύς του με την ισχύ του σήματος. Η μέτρηση έγινε τόσο χωριστά για την χαμηλή (0-2kHz) και υψηλή (2-4kHz) ζώνη του φάσματος όσο και συνολικά.

Η παρουσία του ισοκρατήματος ή ίσου μέσα στο ήχογραφημένο ψαλτικό δείγμα αναλύθηκε ως προς την σχέση της ισχύος του σήματος ψαλμωδίας με την ισχύ του ίσου για τις περιπτώσεις ήχογραφημάτων πού περιέχουν ισοκράτημα. Ο υπολογισμός της ισχύος του ίσου έγινε από σημεία της ήχογράφησης στα όποια δεν υπήρχε σήμα ψαλμωδίας παρά μόνο το σήμα του ίσου.

Η εξέταση και ο έλεγχος του υλικού θα γίνει έκτεταμένα στο επόμενο κεφάλαιο.

Η κωδικοποίηση των δειγμάτων ήταν τύπου *PCM* (*pulse code modulation*), και η δομή τους, απλά μονοκαναλικά με 16 ψηφία (bits) για κάθε δείγμα (sample). Η μείωση του ρυθμού κρίθηκε αρκετή για τη μελέτη, πού περιορίστηκε στην ανάλυση μόνο φωνηέντων τά όποια, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2 εμφανίζουν μέσα στην συχνοτική περιοχή 0 - 4000Hz όλη σχεδόν, την σημαντική ισχύ του ψαλτικού ακούσματος.

Η «συναρμολόγηση» κάθε ψαλτικού δείγματος έγινε έτσι ώστε αυτό να περιέχει όλη την απαραίτητη πληροφορία πού, πιθανόν, χαρακτηρίζει ένα συγκεκριμένο φωνητικό ήχόχρωμα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, έπρεπε να είναι πραγματικά ένα



Σχήμα 5.2 Μέσο φάσμα μεγάλης διάρκειας ενός ψαλτικού δείγματος-ήχοακούσματος πού περιέχει όλα τα φωνήεντα, σε δύο διαφορετικές αναλύσεις με συχνότητα δειγματοληψίας 8192Hz (κάτω σχήμα) και 16384Hz (άνω σχήμα). Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας του ψαλτικού ήχοακούσματος περιορίζεται στην ζώνη συχνοτήτων 0 έως 4kHz περίπου.

«άντιπροσωπευτικό» δείγμα του συγκεκριμένου φωνητικού ήχοχρώματος. Κατά βάση, τό φωνητικό ήχοχρώμα, πού γίνεται αντιληπτό στην ψαλμωδία, πρέπει νά οφείλεται στους ήχους, πού ακούγονται συχνότερα καί έπειδή στην ψαλμωδία κυριαρχούν τά φωνήεντα συνεπάγεται ότι αυτά διαμορφώνουν αυτό τό ήχοχρώμα. Έτσι, τό άντιπροσωπευτικό δείγμα περιέχει μόνο έμφωνους ήχους - φωνήεντα. Άκόμη, γιά άκριβέστερα αποτελέσματα θά έπρεπε νά περιέχει έλάχιστο θόρυβο καί μηδενικές, όσο γινόταν, παρεμβολές. Η παρουσία φωνητικών νοτών (φθόγγων) τής μεσαίας φωνητικής περιοχής εξασφαλίζει κατά κάποιο τρόπο τήν «όμοιογένεια» του ψαλτικού δείγματος μέ τήν έννοια ότι, έπειδή οι νότες ανήκουν στό ίδιο φωνητικό διάγραμμα (βλ. προηγ. κεφάλαια), άρα έχουν παραχθεϊ μέ τόν ίδιο τρόπο. Επιπλέον, ή σχετικά μεγάλη διάρκεια κάθε νότας εξασφαλίζει τή σταθερότητα στην προφορά του φωνήεντος τής νότας ένω ή έλλειψη μεταβολών στην ένταση του ήχου συνεπάγεται άκόμη μεγαλύτερη «όμοιογένεια» στό ψαλτικό ήχοχρώμα, άφου ό ψάλτης δέν αλλάζει τρόπο φώνησης (Sundberg, 1987). Είναι, βέβαια αυτόνοήτο ότι όσο περισσότερες διαφορετικές νότες γιά κάθε φωνήεν τόσο άντιπροσωπευτικότερο τό ψαλτικό δείγμα. Σύμφωνα μέ τά παραπάνω, λοιπόν, όλα τά φωνήεντα συγκεντρωμένα σέ, όσο τό δυνατόν, περισσότερες νότες - φθόγγους τής μεσαίας φωνητικής περιοχής «κτίζουν» μία άκολουθία δεδομένων - ψαλτικό δείγμα τό όποιο όταν αναλυθεϊ μπορεί νά δώσει τήν μέγιστη πληροφορία γιά τό βασικό ήχοχρώμα του ψαλτικού δείγματος.

Η «όμοιογένεια» στό φωνητικό ήχοχρώμα είναι πρωταρχικής σημασίας γιά τήν μελέτη αυτή, έπειδή μόνο τότε μπορούν νά έρευνηθούν σαφείς σχέσεις καί χαρακτηριστικά. Αυτά τά χαρακτηριστικά πού αναζητούνται καί αναφέρονται στό έπόμενο κεφάλαιο, υπάρχουν κατά κανόνα μέσα στην εκκλησιαστική ψαλμώδηση λόγω τής λειτουργικής φύσης της, αλλά καί του σκοπού πού αυτή έπιτελεϊ. Όμως, οι άποκλίσεις άπ' αυτήν τήν θεμελιώδη «όμοιογένεια» μπορούν νά μελετηθούν σέ άλλη έρευνα.

Μέ βάση τά άνωτέρω, ή έπιλογή του ψαλτικού δείγματος βασίστηκε στα ακόλουθα κριτήρια:

1. Άπουσία θορύβου καί παρεμβολών.
2. Παρουσία φθόγγων τής μεσαίας φωνητικής περιοχής (C3 - C4).
3. Μέ νότες μακράς διάρκειας (μέχρι 1sec).
4. Μέ όμοιογένεια τρόπου ψαλμώδησης, χωρίς ουσιαστικές μεταβολές στην ένταση του ήχου.
5. Υπαρξη όλων των ελληνικών φωνηέντων /a, ε, ο, ι, υ/, σέ σταθερή εκφώνηση γιά τό καθένα, χωρίς συνάρθρωση.
6. Συγκέντρωση όσο τό δυνατόν περισσότερων φθόγγων - νοτών συχνότητας μικρότερης άπό 200Hz (άλλαγή φωνητικού διαγράμματος).

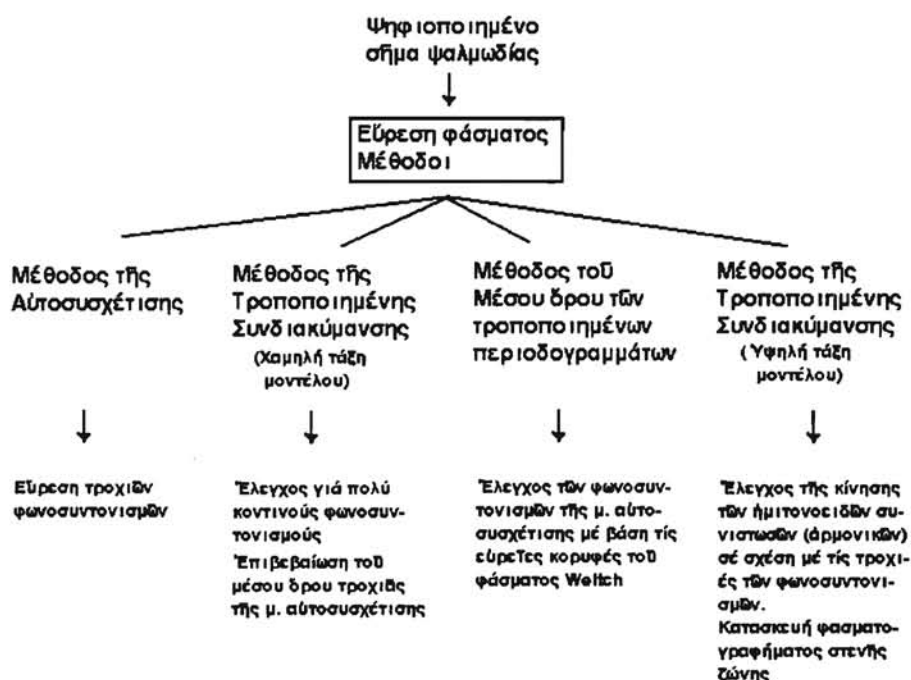
Κατά τή δόμηση των δειγμάτων αυτών καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε, στατιστικά, ή φασματική πυκνότητα ισχύος (ΦΠΙ-PSD), γιά τά μέσα φάσματα μακράς διάρκειας (ΜΦΜΔ - μέθοδος Welch) νά είναι σχεδόν ή ίδια άν ή έκλογή κάθε νότας γίνει άπό άλλη χρονική περίοδο τής ίδιας ήχογράφησης. Βάσει αυτού του έλέγχου παρατηρήθηκε ότι ή ΦΠΙ δέν είναι πολύ σταθερή, γιά ώρισμένους ψάλτες, κατά τήν διάρκεια τής ψαλμώδησης άπό τόν ίδιο ψάλτη, στό ίδιο φωνητικό περιβάλλον. Σέ φημισμένους ψάλτες αυτή ή άστάθεια είναι πολύ μικρή ένω σέ άλλους είναι άπό μέτρια έως πολύ μεγάλη. Άλλά αυτό τό θέμα θά συζητηθεϊ παρακάτω.

Όλα τὰ ψαλτικά δείγματα, μετά τήν κατασκευή τους, υποδιαιρέθηκαν σέ πέντε ακολουθίες δεδομένων φωνήεντος, μία γιά κάθε φωνήεν, καί αποθηκεύτηκαν σέ αντίστοιχα αρχεῖα ἤχου. Σέ κάθε τέτοια ακολουθία δεδομένων φωνήεντος ἐφαρμόσθηκαν οἱ δύο κατηγορίες μεθόδων φασματικῆς ἀνάλυσης πού ἤδη ἀναφέραμε: α) ἡ κλασσική μέθοδος τῆς εὗρεσης μέσου ὄρου τῶν περιοδογραμμάτων (μέθοδος Welch), καί β) οἱ δύο παραμετρικές μέθοδοι τῶν ἐλαχίστων τετραγώνων τῆς αὐτοσυσχέτισης καί τῆς τροποποιημένης συνδιακύμανσης (modified covariance). Ἡ σύγκριση τῶν ἀποτελεσμάτων μεταξύ τῶν δύο κατηγοριῶν μεθόδων ἐλαχιστοποιεῖ τὰ σφάλματα στήν ἐκτίμηση τῶν φωνοσυντονισμῶν τῆς ψαλμωδίας.

Οἱ βασικές μέθοδοι ἀνάλυσης καί ἡ λειτουργία τους παριστάνονται στό παρακάτω σχεδιάγραμμα (σχ. 5.3).

5.5.2 Μέθοδος τοῦ μέσου ὄρου τῶν τροποποιημένων περιοδογραμμάτων

Ἀρχικά, ἐξετάσθηκε ἡ συνολική μορφή τοῦ φάσματος ὁλόκληρου τοῦ ψαλτικοῦ δείγματος μέ τήν μέθοδο εὗρεσης τοῦ μέσου ὄρου τῶν τροποποιημένων περιοδογραμμάτων (Welch), γιά κάθε ψαλτικό ἄκουσμα, καί συγκρίθηκαν ὀπτικά τὰ φάσματά τους. Ὁ λόγος πού ἐγίνε αὐτό ἦταν γιά νά διαπιστωθοῦν τυχόν φασματικές ὁμοιότητες μεταξύ τῶν ψαλτικῶν δειγμάτων. Στή συνέχεια τῆς ἐρευνας, ὁ ρόλος τῶν μέσων φασμάτων μακρᾶς διάρκειας (ΜΦΜΔ) ἦταν καθαρά ἐλεγκτικός καί συμπληρωματικός τῶν ἄλλων μεθόδων φασματικῆς ἀνάλυσης πού χρησιμοποιήθηκαν.



Σχῆμα 5.3 Μέθοδοι φασματικῆς ἀνάλυσης πού χρησιμοποιήθηκαν στή διατριβή καί οἱ λειτουργίες τους.

Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά συνίσταται στην εύρεση του μέσου όρου των περιοδογραμμάτων των επικαλυπτόμενων τμημάτων του αρχικού σήματος. Η επεξεργασία έγινε σε κάθε ακολουθία δεδομένων φωνήεντος από τα /a,ε,ι,ο,υ/ (σε σύμβολα IPA) (Κουρουπέτρογλου, 1998) τα οποία αντιστοιχούν σε φωνήματα της Ελληνικής γλώσσας. Η εφαρμογή της μεθόδου Weltch έγινε με τις εξής τιμές παραμέτρων : Μήκος επικαλυπτόμενου τμήματος των 256 δειγμάτων, με 50% επικάλυψη μεταξύ τους, ιδωμένα μέσω παραθύρου Hanning τό καθένα. Τό συνολικό μήκος της ακολουθίας δεδομένων φωνήεντος κυμαινόταν από 0.5 min - 1 min.

Όταν η ανάλυση είναι προσανατολισμένη στην ανίχνευση των φωνοσυντονισμών της φωνητικής οδού οι όποιοι διακρίνονται από μάλλον πλατειά εύρη ζώνης, ή καλή φασματική διακριτική ικανότητα ενδιαφέρει τόσο ώστε να μην σκεπάζονται κοντινοί φωνοσυντονισμοί αλλά εξίσου ενδιαφέρει και η λείανση του φάσματος έπειδή μικρή διακύμανση σημαίνει λειασμένο φάσμα τό όποιο «ξεχωρίζει» τις κορυφές των φωνοσυντονισμών αγνοώντας τις λεπτομέρειες. Όμως, μεγάλη μείωση της διακύμανσης μπορεί να έμποδίσει την ανίχνευση κάποιου άσθενούς φωνοσυντονισμού. Η ρύθμιση της διακύμανσης μπορεί να γίνει με αύξο-μείωση του άριθμού των επικαλυπτόμενων τμημάτων, όπου η διακύμανση αύξάνεται με την αύξηση του άριθμού αυτού (Marple, 1987).

Η πραγματοποίηση της μεθόδου Weltch έγινε με την βοήθεια του άλγορίθμου του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT). Τό βασικό πρόγραμμα στό προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB πού κάνει χρήση της μεθόδου Weltch είναι στό παράρτημα 3.

Τό μέσο φάσμα μακράς διάρκειας πού προκύπτει με την μέθοδο Weltch άφορά ένα μόνο φωνήεν από ένα ψαλτικό δείγμα. Αυτό τό σχετικά λειασμένο φάσμα (σχ. 5.2), έπειδή η ακολουθία δεδομένων φωνήεντος περιέχει άρκετές νότες (μεταξύ Do3(131Hz) και Sol3(196Hz)), άποτελεϊ ένα μέσο όρο φάσματος για όλες αυτές τις νότες και έπομένως τό φάσμα και τό ήχόχρωμα μελετήθηκαν ανεξάρτητα από την τονικότητα (pitch).

5.5.3 Οι παραμετρικές μέθοδοι

Έκτός της κλασσικής μεθόδου Weltch, η όποία περιγράφει χονδρικά τό φάσμα για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό μήκος δεδομένων, είναι χρήσιμο για την εκτίμηση των φωνοσυντονισμών της φωνητικής οδού να περιγραφεί η χρονική εξέλιξη του φάσματος μιας ακολουθίας δεδομένων φωνήεντος.

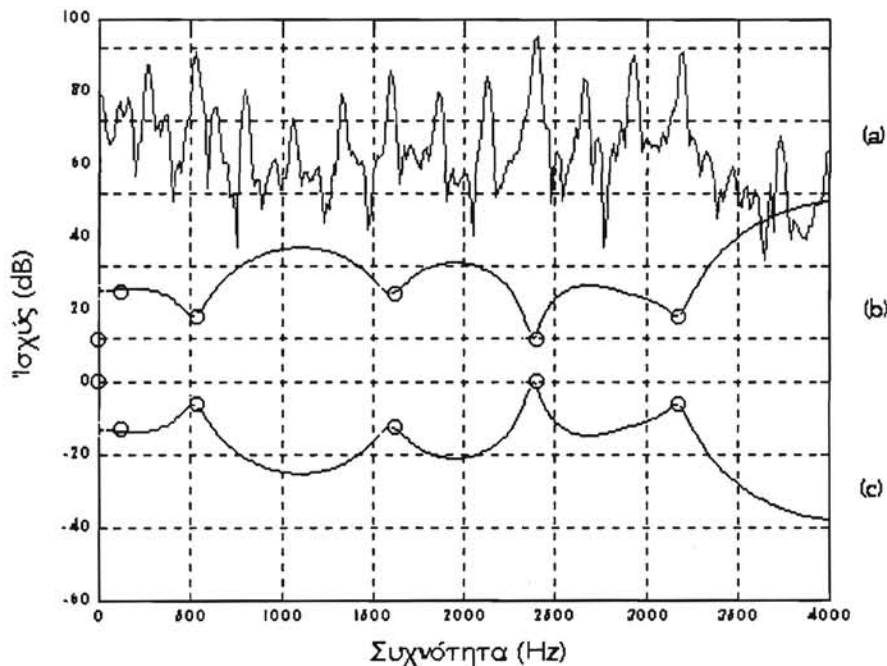
5.5.3.1 Η μέθοδος της αυτοσυσχέτισης (Markel)

Η μέθοδος της αυτοσυσχέτισης (Markel, 1972) εκτιμά τις συχνότητες και τις ισχύες των φωνοσυντονισμών από την φασματική περιβάλλουσα (σχ. 5.4) για μία ακολουθία δεδομένων και δημιουργεί ένα πίνακα τιμών συχνοτήτων - ισχύων των φωνοσυντονισμών. Πραγματοποιείται στά εξής στάδια :

- α) Προέμφαση του σήματος,
- β) Έφαρμογή συγκεκριμένου παραθύρου,
- γ) Υπολογισμός πεπερασμένης αυτοσυσχέτισης,

- δ) Έπίλυση εξισώσεων αυτοσυσχέτισης,
- ε) Υπολογισμός DFT του αντίστροφου φίλτρου,
- στ) Υπολογισμός του αντίστροφου μεγέθους, και
- ζ) Δόμηση του πίνακα συχνοτήτων - Ισχύων των φωνοσυντονισμών.

Γιά τά παραπάνω στάδια πρέπει νά σημειωθοῦν τά ἑξῆς : Ἡ προέμφαση στό σῆμα, ἐκτός ἀπό τούς λόγους πού ἀναφέρθηκαν πιοῦ πάνω, ἐφαρμόζεται καί γιά ἕναν ἀκόμη λόγο. Τό ὁλοπολικό φίλτρο στό σχῆμα 5.1(β), ἔχει συνάρτηση μεταφοῶς πού εἶναι τό γινόμενο τῆς συνάρτησης μεταφοῶς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ, τῆς γλωττίδας καί τῆς ἐκπομπῆς τῶν χειλιῶν. Ἡ γλωττίδα εἰσάγει δύο πόλους στήν ὀλική συνάρτηση καί τά χεῖλη ἕνα μηδενικό τό ὁποῖο ἀκυρώνει ἕναν ἀπό τούς πόλους. Μέ τήν προέμφαση εἰσάγεται τεχνητά (κατά τήν ἐπεξεργασία) ἕνα ἀκόμη μηδενικό, τό ὁποῖο ἀκυρώνει, περίπου, καί τόν δεύτερο πόλο. Ἐτσι τό ὁλοπολικό φίλτρο προσεγγίζει ἀρκετά καλά τήν συνάρτηση μεταφοῶς τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ (Childers, 2000).



Σχῆμα 5.4.Εύρεση τῆς φασματικῆς περιβάλλουσας (c) καί τοῦ ἀντιστρόφου φίλτρου (b) τοῦ σήματος, πού ἀντιστοιχεῖ στό βραχύχρονο φάσμα Fourier (a).

Η προέμφαση γίνεται περνώντας τό σήμα ψαλμωδίας μέσα από φίλτρο, πριν ή μετά τό παράθυρο, τής μορφής $s^f(n) = s(n) - a_1 s(n-1)$ (Wakita, 1973), όπου τό a_1 παίρνει τιμές $0.96 \leq a_1 \leq 0.99$, ή τήν τιμή άριστης προέμφασης για $a_1 = r_{xx}(1)/r_{xx}(0)$ (Gray & Markel, 1974), όπου r_{xx} ή αὐτοσυσχέτιση. Για τήν μέγιστη τιμή τοῦ a_1 ή κλίση τοῦ φίλτρου εἶναι 6dB ανά οκτάβα.

Τό εἶδος τοῦ παραθύρου, δηλαδή Hamming, πού εφαρμόζεται στό δεύτερο στάδιο βελτιώνει τήν φασματική διακριτική ικανότητα ὅπως, επίσης, καί τό μήκος N τοῦ παραθύρου τής ακολουθίας δεδομένων. Ἄν τό παράθυρο ἐκλεγεῖ μικρό δέν θά κάνει λεπτομερή ἀνάλυση, ἄν ἐκλεγεῖ μεγάλο θά μειώνει τήν ισχύ τῶν ισχυρῶν φωνοσυντονισμῶν λόγω τοῦ μεγάλου μέσου ὁρου. Βρέθηκε ὅτι τό μήκος παραθύρου εἶναι συνάρτηση τοῦ ρυθμοῦ δειγματοληψίας F_s ,

$$N = \delta F_s \quad (5.45.)$$

ὅπου τό δ παίρνει τιμές μεταξύ 20 καί 35. Ἐπομένως τό καλύτερο μήκος παραθύρου εἶναι μεταξύ 160 καί 280 δείγματα, για ρυθμό δειγματοληψίας 8192Hz.

Ἡ τιμή τής τάξης τοῦ μοντέλου AR ή τοῦ ἀντίστροφου φίλτρου LP ἐπιλέγεται σύμφωνα μέ τά ἀνωτέρω, δηλαδή μέ τήν ἐμπειρική σχέση 5.44, ὁπότε μιά τιμή 12 ή 13 φαίνεται ὅτι εἶναι ή καταλληλότερη για τήν ἐκτίμηση τής περιβάλλουσας τοῦ φάσματος τοῦ ἐκτιμητῆ AR.

Κατά τόν ὑπολογισμό τοῦ φάσματος μέ τόν ἀλγόριθμο FFT, μέ προσθήκη μηδενικῶν ἐκτιμῶνται ἀκριβέστερα οἱ τιμές τῶν συχνοτήτων τῶν φωνοσυντονισμῶν, οἱ ὁποῖες ὑπολογίζονται μέ συλλογή τῶν κορυφῶν ἐνῶ ισχύες τους μέ ἐμβαδοποίηση (βλ. ἀνωτέρω).

Ἡ μέθοδος τής αὐτοσυσχέτισης μπορεῖ νά εφαρμοσθεῖ λογικά καλά καί για ἔνρινους καί ἀφώνους ἤχους πού ἔχουν ὅμως φωνοσυχνοτική δομή. Εἶναι γνωστό ὅτι ή διέλευση τοῦ σήματος τής πηγαίας φωνῆς διά μέσου τοῦ φίλτρου τής ρινικής κοιλότητας, ἄν καί δέν εἶναι σαφής ή συμπεριφορά του, γενικά εἰσάγει φασματικά μηδενικά (ἐλάχιστα) στό μαθηματικό μοντέλο τοῦ φυσικοῦ συστήματος τής φωνῆς, ὅπως ἤδη ἀναφέρθηκε στό 2ο κεφάλαιο. Ἐτσι μπορεῖ νά ἀκυρωθοῦν κάποιοι φωνοσυντονισμοί ἐξ αἰτίας αὐτῶν τῶν μηδενικῶν.

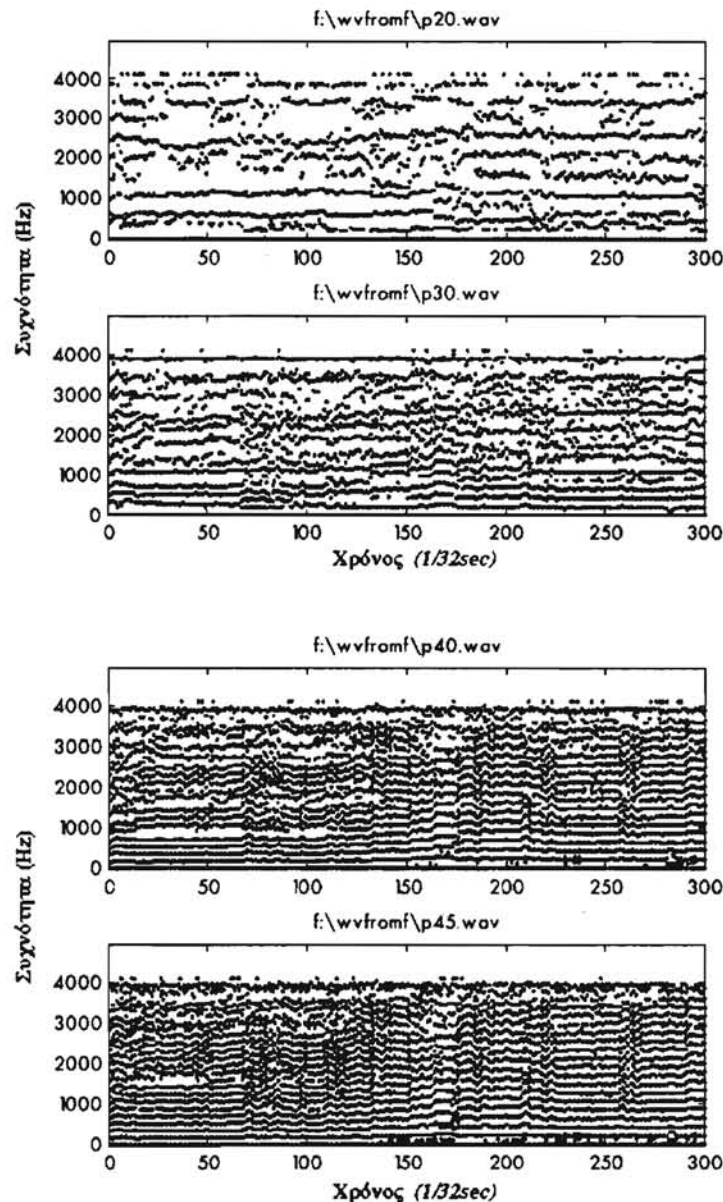
Τό μήκος παραθύρου, για τήν μέθοδο Markel στήν παρούσα ἐργασία ἐπιλέχθηκε $N = 256$ δηλαδή, ή ἀνάλυση ἔγινε μέ χρονικό βῆμα $1/32 = 0.03125\text{sec}$, τιμή πού ἀνήκει στό διάστημα τιμῶν βήματος ἀνάλυσης ὥστε νά μπορεῖ νά θεωρηθεῖ ή ἀκολουθία δεδομένων μοναδική πραγματοποίηση μιᾶς στάσιμης διαδικασίας.

Τό κατάλληλο μήκος παραθύρου ὑπῆρξε ἀντικείμενο ἔρευνας σ' αὐτή τήν ἐργασία καί δοκιμάστηκαν διάφορα μήκη μέ ταυτόχρονη παρατήρηση τοῦ μεγέθους τοῦ φάσματος. Αὐτή ή διαδικασία θά περιγραφεῖ στήν ἐπόμενη παράγραφο.

5.5.3.2 Ἡ μέθοδος τής τροποποιημένης συνδιακύμανσης

Ἡ μέθοδος ὑψηλῆς φασματικῆς διακριτικῆς ικανότητας πού χρησιμοποιήθηκε σ' αὐτή τήν διατριβή εἶναι ή μέθοδος τής τροποποιημένης συνδιακύμανσης (modified covariance). Ἡ μέθοδος εφαρμόσθηκε μέ δύο διαφορετικές τιμές τάξης μοντέλου, τέτοιες ὥστε, μέ χαμηλή τάξη μοντέλου (12 ή 13) νά ὑπολογίζει τήν φασματική περιβάλλουσα (spectral envelope) τοῦ σήματος ψαλμωδίας καί μέ ὑψηλή τάξη μοντέλου (45 - 50) νά ἐκτιμᾷ τήν παρουσία ἡμιτονοειδῶν συνιστωσῶν μέσα στό ἴδιο σήμα. Ὁ λόγος πού χρησιμοποιήθηκε ἦταν ὁ ἔλεγχος τής ὀρθότητας καί ή ἐπιβεβαί-

ωση τῶν αποτελεσμάτων τῆς ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου τῆς αὐτοσυσχέτισης (μέθοδος Markel). Στὴ συνέχεια θὰ ἀναφερθεῖ ἡ μέθοδος γιὰ ὑψηλὴ τάξη μοντέλου.



Σχῆμα 5.5. Ἀνάλυση μέ τὴν μέθοδο τῆς τροποποιημένης συνδιακύμανσης σέ μιά ἀκολουθία δεδομένων φωνήεντος, ἡ ὁποία ὑποδιαιρεῖται σέ διαδοχικὲς ἀκολουθίες δεδομένων, γιὰ διάφορες τιμές τάξης μοντέλου 20, 30, 40 καί 45. Ὅσο αὐξάνεται ἡ τάξη τοῦ μοντέλου τόσο βελτιώνεται ἡ φασματικὴ διακριτικὴ ἱκανότητα ἐνῶ σέ πολὺ ὑψηλές τιμές τάξης μπορεῖ νὰ ἐμφανισθοῦν τυχαῖες ἀρμονικὲς.

Ὅπως στὴν μέθοδο τῆς αὐτοσυσχέτισης, ἔτσι καὶ στὴν μέθοδο τῆς τροποποιημένης συνδιακύμανσης ὁ προσδιορισμὸς τῆς τάξης τοῦ μοντέλου καὶ τοῦ μήκους τῆς ἀκολουθίας δεδομένων εἶναι ἀποτέλεσμα κάποιου πᾶρε - δῶσε ἀνάμεσα στὴν

βελτιστη φασματική διακριτική ικανότητα και την αλλοίωση του εκτιμητή (διαχωρισμός φασματικών γραμμών - τυχαίες κορυφές) τό πρώτο, και την ικανοποίηση της απαίτησης για στασιμότητα (stationarity) της ακολουθίας δεδομένων τό δεύτερο. Είναι γνωστό ότι όσο μικραίνει τό μήκος της ακολουθίας και ελαττώνεται ή φασματική διακριτική ικανότητα και ο αριθμός των παραμέτρων της αυτοπαλινδρομικής διαδικασίας (AR) ίσως χρειάζεται νά αυξηθεῖ γιά νά τήν βελτιώσει.

Ένα πρώτο, λοιπόν, πρόβλημα πού προκύπτει γιά τήν μέθοδο αὐτή εἶναι ή επιλογή κατάλληλης τάξης μοντέλου AR, p , καθώς ένα δεύτερο, εἶναι ή εύρεση τοῦ βολικότερου μήκους ακολουθίας δεδομένων, N , γιά ανάλυση. Στό πρώτο ή απάντηση μπορεῖ νά δοθεῖ μόνο εμπειρικά, μέ τόν περιορισμό, γιά τόν αλγόριθμο τοῦ Marple, πού αναφέρθηκε παραπάνω, ότι δέν μπορεῖ ή τάξη μοντέλου νά υπερβαίνει τά $2/3$ τοῦ μήκους ακολουθίας δεδομένων σέ δείγματα.

Βασικό στοιχείο στήν επιλογή τῆς τάξης ἦταν ή χρονική εξέλιξη τῶν αρμονικῶν σέ σχέση μέ τήν μελωδία, και ή ιδιαιτερότητα τοῦ ψαλτικοῦ ἠχοακούσματος. Πιό συγκεκριμένα, γιά ένα μουσικό ἦχο, ο ὅποιος γίνεται αντιληπτός σάν νότα Fa (175Hz), θά πρέπει νά ὑπάρχει σαφῶς μία ἁρμονική αὐτῆς τῆς συχνότητος ή παραπλήσιας μέσα στό φάσμα του. Ἐτσι ἂν αὐτή ή ἁρμονική δέν διακρίνεται γιά κάποια τάξη μοντέλου AR, πρέπει νά αυξηθεῖ ή τάξη τοῦ μοντέλου AR μέχρι νά γίνει ὁρατή αὐτή ή ἁρμονική στήν χρονική εξέλιξη τοῦ φάσματος (σχῆμα 5.5). Μέ αὐτόν τόν συλλογισμό προσδιορίσθηκε ο αριθμός τῶν παραμέτρων AR σέ 45 - 50 γιά μήκος ακολουθίας δεδομένων 256 δειγμάτων.

Ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 5.5, γιά τάξεις μικρότερες, δέν εἶναι «σαφής» ή μουσική κίνηση γιά κάθε ἁρμονική, ἐνῶ ὑπάρχει μεγάλη ἀβεβαιότητα ὡς πρὸς τήν συχνότητα. Ἐδῶ τό σχῆμα εἶναι ένα εἶδος φασματογραφήματος, τό ὅποιο δείχνει τήν χρονική εξέλιξη τῶν ἡμιτονοειδῶν χωρίς ὅμως νά φαίνεται ή ισχύς κάθε ἁρμονικῆς συνιστώσας, ή ὅποια εἶναι πάνω ἀπό -70 dB, ὅπου 0dB ἔχει θεωρηθεῖ ή ισχύς τῆς ισχυρότερης ἁρμονικῆς μέσα στήν ακολουθία δεδομένων φωνήεντος ἀλλά και γιά ὅλες τίς ἀκολουθίες φωνηέντων τοῦ ἴδιου ψαλτικοῦ δείγματος.

Ὁ ὑπολογισμός τῆς ισχύος κάθε ἡμιτονοειδοῦς ἔγινε, ὅπως και στήν προηγούμενη μέθοδο ἀνάλυσης, μέ ἐμβαδοποίηση τῆς περιοχῆς τῆς ΦΠI κάτω ἀπό κάθε κορυφή, κάτι πού δέν εἶναι χωρίς ὑπολογιστικό κόστος, μέ συνέπεια νά καθυστερεῖ τό πρόγραμμα κατά τήν σχεδίαση τοῦ φασματογραφήματος. Αὐτό τό τελευταῖο ἀποτελεῖται ἀπό τό σύνολο ὅλων τῶν προβολῶν τῶν κορυφῶν τῆς ΦΠI, γιά κάθε ἀκολουθία δεδομένων, σέ μία εὐθεῖα κάθετη στόν χρονικό ἄξονα τοῦ φασματογραφήματος, ὅπου ὑπάρχει μία κλίμακα χρώματος γιά τήν ἐνδειξη τῆς ισχύος.

Γιά νά λυθεῖ τό πρόβλημα επιλογῆς τοῦ κατάλληλου μήκους ἀκολουθίας δεδομένων, δηλαδή τό χρονικό βῆμα ἀνάλυσης, τέθηκαν ὠρισμένα κριτήρια:

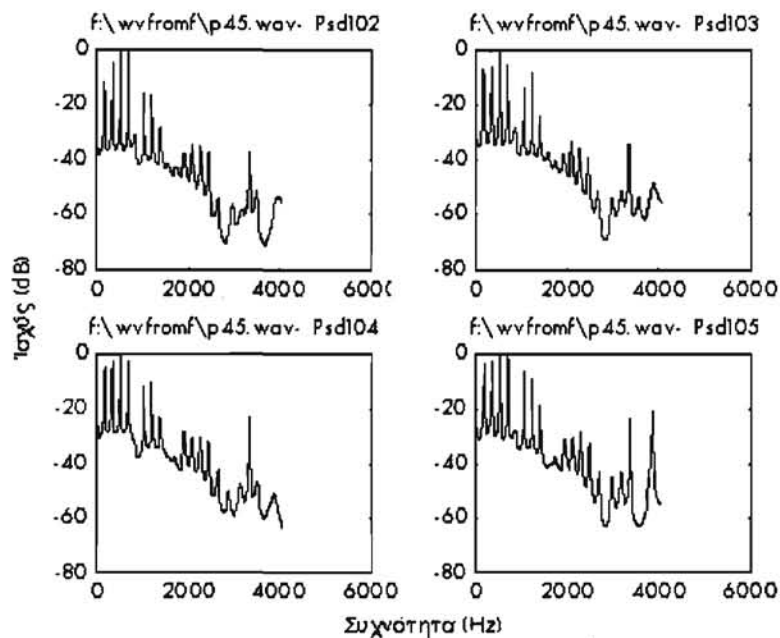
- 1) νά προκύπτει σταθερό σχετικά φάσμα μεταξύ διαδοχικῶν ἀκολουθιῶν,
- 2) νά διακρίνονται οἱ γρήγορες μουσικές μεταβολές, και
- 3) νά συντομεύεται ο χρόνος ἐπεξεργασίας, λόγω τοῦ μεγάλου πλήθους μουσικῶν δειγμάτων - ἠχοακουσμάτων, τά ὅποια ἔπρεπε νά ἀναλυθοῦν.

Ὡς πρὸς τό πρώτο κριτήριο, δέν ὑπάρχει σίγουρος τρόπος καθορισμοῦ ἀλλά κρίνεται εμπειρικά μέ τήν σύγκριση τῶν φασμάτων διαδοχικῶν ἀκολουθιῶν δεδομένων. Γιά τό δεύτερο, πρέπει νά εἶναι, ὅσο τό δυνατόν, πιό μικρό, ὅπως εἶναι εὐνόητο, γιά νά περιγράψει και γρήγορες μουσικές μεταβολές. Τέλος, ὅσον ἀφορᾷ στό τρίτο κριτήριο, εἶναι γνωστό ότι ή μέθοδος βασίζεται στόν αλγόριθμο τοῦ

Marple, ό όποϊος άπαιτεϊ $Np+6p^2$ πράξεις καϊ, άν τό μήκος άκολουθίας φωνήεντος εϊναι N_0 , θά έχρειάζοταν $N_0(p+6p^2/N)$ πράξεις (Marple, 1987) (μόνο γϊά τόν άλγόριθμο, χωρίς τόν ύπολογισμό τής ΦΠΙ), δηλαδή ό χρόνος έπεξεργασίας εϊναι περίπου αντιστρόφως ανάλογος τοϋ μήκους άκολουθίας δεδομένων. Έτσι επιλέχθηκε, έμπειρικά, μϊά τιμή συμβιβασμοϋ μέ τά άλλα δύο κριτήρια, ή τιμή μεγέθους άκολουθίας 256 δειγμάτων, πού αναφέρθηκε παραπάνω, ή όποϊά φαίνεται ότι ικανοποιεϊ καϊ τό πρώτο κριτήριο.

Ή στασιμότητα (stationarity) τών άκολουθϊών, έπιτυγχάνεται όταν τά φάσματα διαδοχϊκών άκολουθϊών δεδομένων δέν διαφέρουν οϋσιαστικά μεταξύ τους, εξασφαλίζοντας ότι τουλάχιστον ως πρός τό μέγεθος τοϋ φάσματος μπορεϊ νά θεωρηθεϊ ή πρός άνάλυση άκολουθία δεδομένων σάν μοναδική πραγματοποίηση μιās στάσιμης διαδικασίας, όπως προϋποθέτει τό μοντέλο AR.

Διάφορα προβλήματα κατá τήν έφαρμογή τής μεθόδου, όπως, ή άπομόνωση τυχόν συνεχών συνιστωσών ή γραμμϊκών τάσεων μέσα στό σήμα, ή έκλογή τοϋ βήματος άνάλυσης (στόν FFT) ως πρός τήν συχνότητα, καθώς καϊ ή αλλοίωση τοϋ φασματικοϋ εκτιμητῆ γϊά πολύ μικρές τιμές τοϋ πηλίκου σήμα πρός θόρυβο, αντιμετωπίσθηκαν ως έξής :



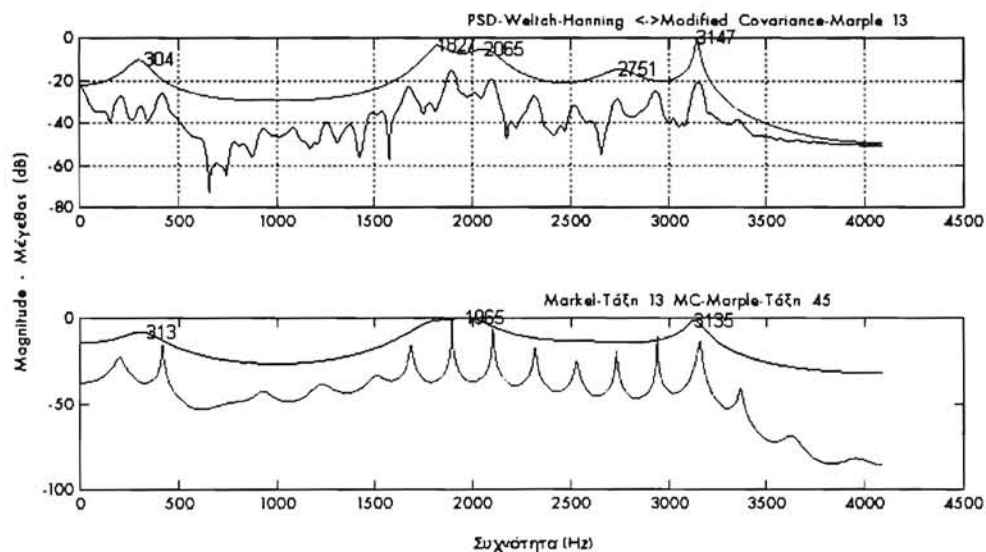
Σχῆμα 5.6. Φασματική πυκνότητα Ισχύος (ΦΠΙ) σέ 4 διαδοχϊκές άκολουθίες δεδομένων, μήκους 256 δειγμάτων ή κάθε μϊά, άπό μϊά άκολουθία φωνήεντος, ύπολογισμένη μέ τήν μέθοδο άνάλυσης AR τής τροποποιημένης συνδιακύμανσης (modified covariance), μέ τάξη μοντέλου 45. Μποροϋμε νά παρατηρήσουμε άπό άνω άριστερά τήν Psd102 μέχρι κάτω δεξιά τήν Psd105 μϊά καλή σταθερότητα τοϋ μεγέθους τοϋ φάσματος.

Γϊά τό πρώτο, δύο τρόποι έφαρμόσθηκαν. 1) Άφαίρεση άπό τήν τιμή κάθε δείγματος τής μέσης τιμῆς όλων τών δειγμάτων τής άκολουθίας, καϊ 2) Έφαρμογή φίλτρου μηδενικῆς φάσης μέ έμπρόσθιο (forward) καϊ αναδρομικό (backward) φιλτράρισμα, μέ ρύθμιση τών αρχικών συνθηκών γϊά νά ταιριάζουν στήν συνεχῆ

συνιστώσα του σήματος (Oppenheim & Schaffer, 1989) και συνάρτηση μεταφοράς $H(z) = 1 + z^{-1} / 1 - 0.99z^{-1}$. Τό βήμα ανάλυσης στην συχνότητα επιλέχθηκε τέτοιο ώστε το συνολικό έμβαστο στο διάγραμμα της ΦΠΙ (PSD) να είναι ίσο με την ολική ισχύ του σήματος στο χρονικό πεδίο. Έτσι, η τιμή του ήταν $0.0005 \cdot F_s = 0.0005 \cdot 8192 = 4.096$ Hz. Στα τμήματα της ακολουθίας όπου το πηλίκο σήμα προς θόρυβο ΣΠΘ (SNR) είναι σχετικά μικρό (μικρότερο από 10dB) είναι μικρότερη η φασματική διακριτική ικανότητα του εκτιμητή AR με αποτέλεσμα να καλύπτονται γειτονικές ημιτονοειδείς έντελως. Βελτίωση της διακριτικής ικανότητας μπορεί να γίνει είτε με αύξηση της τάξης του μοντέλου (αν και όχι πάντοτε) είτε με αύξηση του μήκους της ακολουθίας. Αν, παρόλα αυτά δεν βελτιωθεί η φασματική ανάλυση τότε πρέπει να αλλάξει το ψαλτικό δείγμα.

Ο βασικός αλγόριθμος για την εύρεση του κατάλληλου μήκους ακολουθίας δεδομένων και της τάξης μοντέλου σε συνδυασμό και με τα ανωτέρω προβλήματα ήταν ο ακόλουθος :

- 1) Αρχικός καθορισμός μήκους ακολουθίας δεδομένων.
- 2) Απαλειφή συνεχούς συνιστώσας.
- 3) Επιλογή τάξης μοντέλου AR (Όχι πολύ υψηλή τάξη - μέχρι 50)
- 4) Εκτίμηση των παραμέτρων AR (Μέθοδος της τροποποιημένης συνδιακύμανσης) με τον αλγόριθμο του Marple.
- 5) Υπολογισμός της φασματικής πυκνότητας ισχύος
- 6) Αν έχει επιτευχθεί χαμηλή διακύμανση και υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα, τελικός καθορισμός τάξης μοντέλου AR και μήκους, αλλιώς επιστροφή στο βήμα 3.



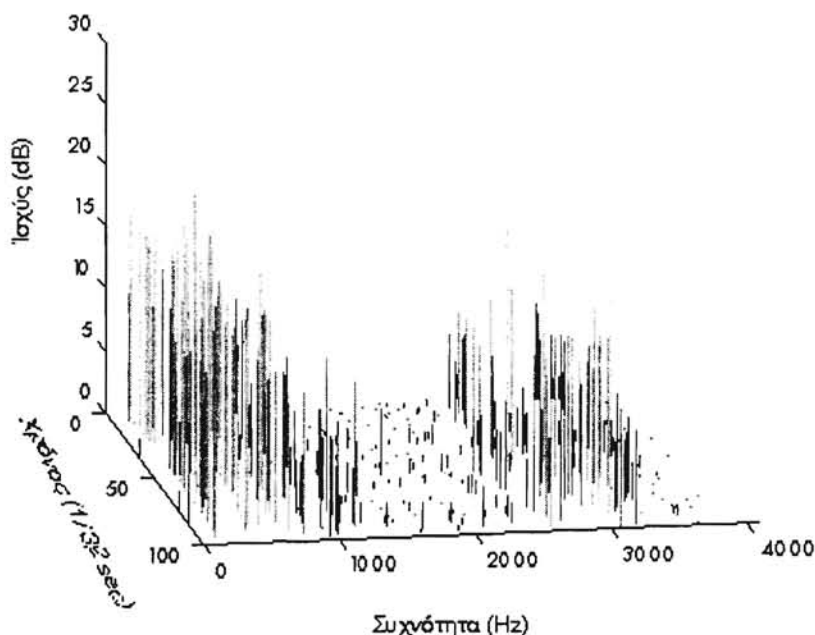
Σχήμα 5.7. Φασματικές περιβάλλουσες με την μέθοδο της αυτοσυσχέτισης (κάτω σχήμα) και με την μέθοδο της τροποποιημένης συνδιακύμανσης (άνω σχήμα). Η πρώτη δεν διαχωρίζει τους πολύ γειτονικούς φωνοσυντονισμούς αντίθετα από τη δεύτερη. Παρατηρούμε την περιοδικότητα του ψαλτικού εμφωνου ήχου από το δεύτερο κάτω σχήμα που έχει υπολογισθεί με την μέθοδο της τροπ. συνδιακύμανσης με υψηλή τάξη μοντέλου.

Για χαμηλή τάξη μοντέλου 12 ή 13, η μέθοδος της τροποποιημένης συνδιακύμανσης μπορεί να υπολογίσει την φασματική περιβάλλουσα της ψαλμωδίας, για κάθε ακολουθία δεδομένων, σε περιπτώσεις που αποτυγχάνει η μέθοδος της αυτοσυσχέτισης, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7.

5.5.4 Άλγόριθμος και διαγράμματα ανάλυσης

Στήν συνέχεια θα περιγραφεί ο βασικός αλγόριθμος ανάλυσης και θ' αναφερθούν τα βασικά διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση, καθώς και η συγκριτική τους εξέταση για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

5.5.4.1 Τά φασματογράφημα AR

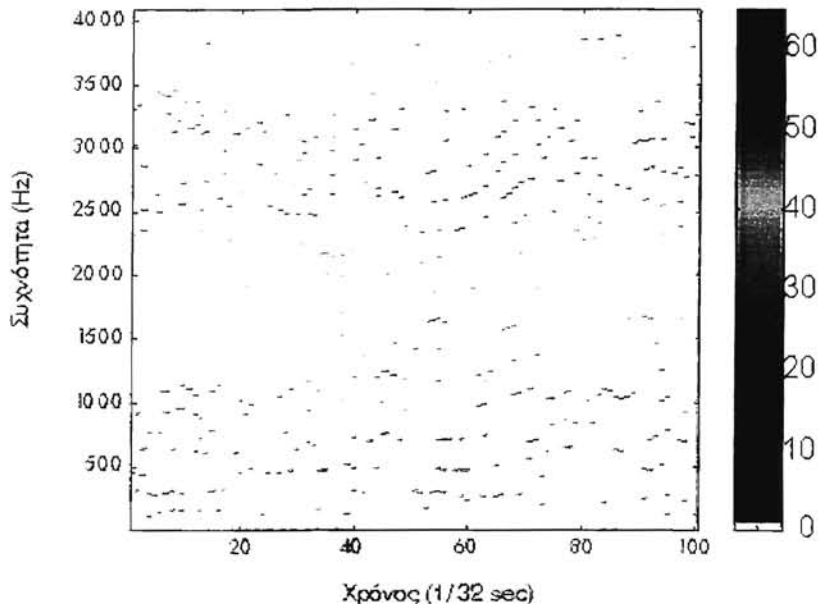


Σχήμα 5.8 Φασματογράφημα, προοπτικής μορφής, για ακολουθία δεδομένων φωνήεντος (φωνήεν /α/), σχετικής ισχύος κάθε αρμονικής ως προς την ισχύ της ισχυρότερης αρμονικής στο ψαλτικό δείγμα που ανήκει ή ακολουθία φωνήεντος, σε λογαριθμικές τιμές (dB), σε συνάρτηση με τον χρόνο και την συχνότητα. Διακρίνονται οι συγκεκριμένες ζώνες των φωνοσυντονισμών μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι ισχυρότερες αρμονικές.

Τό φασματογράφημα AR περιγράφει την ισχύ των ήμιτονοειδών, που περιέχονται στο σήμα ψαλμωδίας, σε συνάρτηση με τον χρόνο και σχεδιάζεται σε δύο μορφές. Η μία βασίζεται στην προοπτική απεικόνιση και δείχνει την μία από τις τρεις διαστάσεις σε «βάθος», στην προκειμένη μορφή την διάσταση του χρόνου έπειδή

πρέπει νά φαίνονται καλύτερα οι αρμονικές συνιστώσες, και ή άλλη δείχνει τήν διάσταση τής ισχύος σέ μιά κλίμακα χρώματος πού σχεδιάζεται δίπλα και εἶναι λογαριθμική.

Ἡ κατασκευή ενός φασματογραφήματος βασισμένου στήν αυτόναδρομική ἀνάλυση περιλαμβάνει τή σχεδίαση τῶν κορυφῶν τοῦ ἐκτιμητοῦ AR γιά κάθε ἀκολουθία δεδομένων, μιᾶς συγκεκριμένης ἀκολουθίας φωνήεντος, καί ἐπί τῇ βάσει ενός πίνακα δύο διαστάσεων τοῦ ὁποῖου, ή μία διάσταση ἀντιστοιχεῖ στόν ἀριθμό ἀκολουθίας δεδομένων(χρόνος) ἐνῶ ή ἄλλη ἀντιστοιχεῖ στήν περιοχή συχνοτήτων ($1 - F_s/2$) μέ βῆμα $F_s/(2 \cdot 1000) \approx 4.1\text{Hz}$. Οἱ τιμές τῶν στοιχείων τοῦ πίνακα περιγράφουν τίς σχετικές ισχύες μεταξύ τῶν ἀρμονικῶν, θεωρούμενης τῆς μεγαλύτερης ισχύος γιά ὅλο τό ψαλτικό δεῖγμα ἴσης μέ τό μηδέν, στήν λογαριθμική κλίμακα (dB). Κάθε στοιχεῖο τοῦ πίνακα ἔχει συντεταγμένες (ἀριθμός ἀκολουθίας, φασματική συχνότητα) καί ἐπομένως ὁ πίνακας περιέχει μία τρίτη διάσταση πού ἀντιστοιχεῖ, στό προοπτικό φασματογράφημα μέ τόν κατακόρυφο ἄξονα (σχ. 5.8) καί στό χρωματικό φασματογράφημα (σχ. 5.9).



Σχήμα 5.9 Φασματογράφημα ἀντίστοιχο τοῦ σχήματος 5.6 ἀλλά ή τρίτη διάσταση τῆς ισχύος παρουσιάζεται μέ τήν διπλανή κλίμακα χρώματος. Οἱ ισχυρότερες ἀρμονικές ἐμφανίζονται μέ κόκκινο ή σκούρο καφέ χρῶμα. Τό φόντο χρώματος λευκοῦ ἀντιστοιχεῖ στά 0dB ἐπιλεγμένο κατά 70dB μικρότερο ἀπό τήν ισχύ τῆς ισχυρότερης ἀρμονικῆς μέσα στό ψαλτικό δεῖγμα (γιά ὅλα τά φωνήεντα).

Τό φασματογράφημα προοπτικῆς μορφῆς τοῦ σχήματος 5.8 ἀναφέρεται σέ μία ἀκολουθία δεδομένων φωνήεντος καί δείχνει τήν σχετική ισχύ, σέ λογαριθμικές τιμές, κάθε ἀρμονικῆς ὡς πρὸς τήν ισχύ τῆς ισχυρότερης ἀρμονικῆς μέσα στό ψαλτικό δεῖγμα στό ὁποῖο ἀνήκει ή συγκεκριμένη ἀκολουθία φωνήεντος, σέ

συνάρτηση μέ τον τον χρόνο. Άνάλογο είναι καί τό χρωματικό φασματογράφημα τοῦ σχήματος 5.9, ὅπου ἡ σχετική ἰσχύς κάθε ἀρμονικῆς ἐκφράζεται μέ μία κλίμακα χρώματος κατάλληλα διαβαθμισμένη ὥστε νά περιλαμβάνει τά ἀκρότατα τῶν τιμῶν ἰσχύος.

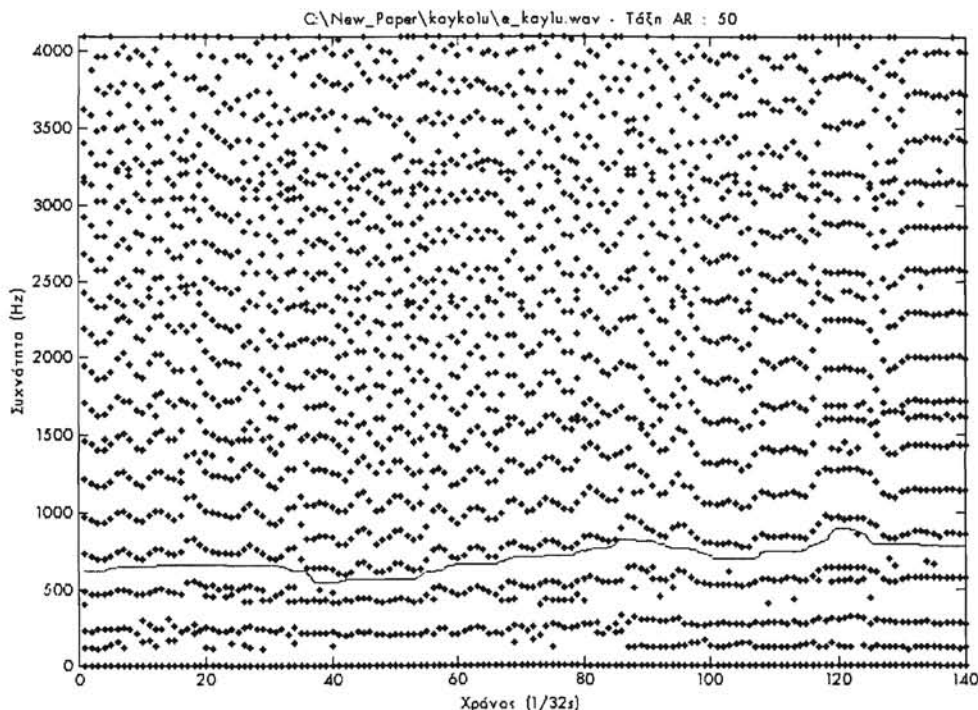
5.5.4.2 Ἀρμονικές τροχιές

Ἡ παράσταση τῆς κίνησης στόν χρόνο τῶν ἀρμονικῶν ἀνεξαρτήτως στάθμης ἰσχύος, ἀρκεῖ νά μὴν εἶναι τυχαῖες ἀρμονικές, βοηθᾷ τήν ἐκτίμηση τῶν φωνοσυντονισμῶν, ὅπως θά φανεῖ στόν ἀλγόριθμο ἀνάλυσης, στή συνέχεια, μέ τό νά συγκρίνεται ἡ τροχιά πού διαγράφει μιᾷ ἡμιτονοειδῆς (ἀρμονική τροχιά) μέ τήν τροχιά ἑνός φωνοσυντονισμοῦ. Μιά ἀντιπροσωπευτική ἀρμονική τροχιά σχεδιάζεται ἔτσι ὥστε νά ἀκολουθεῖται ἡ πορεία μιᾶς ἡμιτονοειδοῦς σταθερῆς τάξης, ἡ ὁποία διαγράφεται μέ σαφήνεια. Οἱ ἀποστάσεις μεταξύ τῶν ἀρμονικῶν πρέπει νά εἶναι περίπου ἴσες.

Ἡ μορφή τῆς ἀντιπροσωπευτικῆς ἀρμονικῆς τροχιάς μπορεῖ νά ἐπιβεβαιωθεῖ καί ψυχοακουστικά μέ τήν μουσική ἀντίληψη τῆς τονικότητος (pitch). Ἡ παρουσία τοῦ ἰσοκρατήματος (ἴσου) μπορεῖ νά ἀνιχνευθεῖ ἀπό τήν παρουσία εὐθείας γραμμῆς ἀλλά καί ἀπό ξεχωριστή ἀνάλυση τοῦ φάσματός του.

Γιά τοὺς ἀνωτέρω λόγους σχεδιάστηκε τό φασματογράμμα (ὄχι φασματογράφημα) τοῦ σχήματος 5.10.

5.5.4.3 Φωνοσυχνοτικές τροχιές (τροχιές τῶν φωνοσυντονισμῶν)



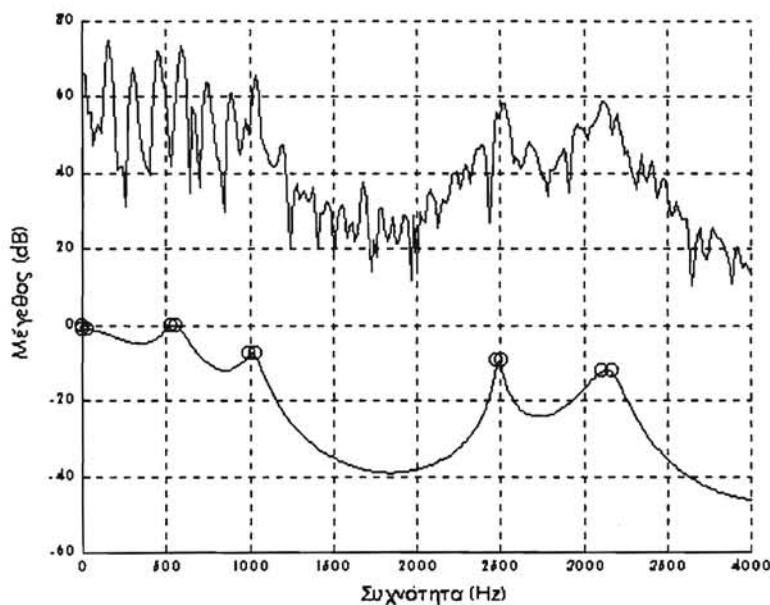
Σχήμα 5.10. Ἀρμονικές τροχιές γιά μιᾷ ἀκολουθία φωνήεντος, ὅπου ἔχει σχεδιασθεῖ μέ συνεχή γραμμή μιᾷ ἀντιπροσωπευτική τροχιά ἀρμονικῆς.

Ἡ σχεδίαση τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν γιὰ μίᾳ ἀκολουθία δεδομένων φωνήεντος ἀκολουθεῖ τὴν ἐξῆς διαδικασία :

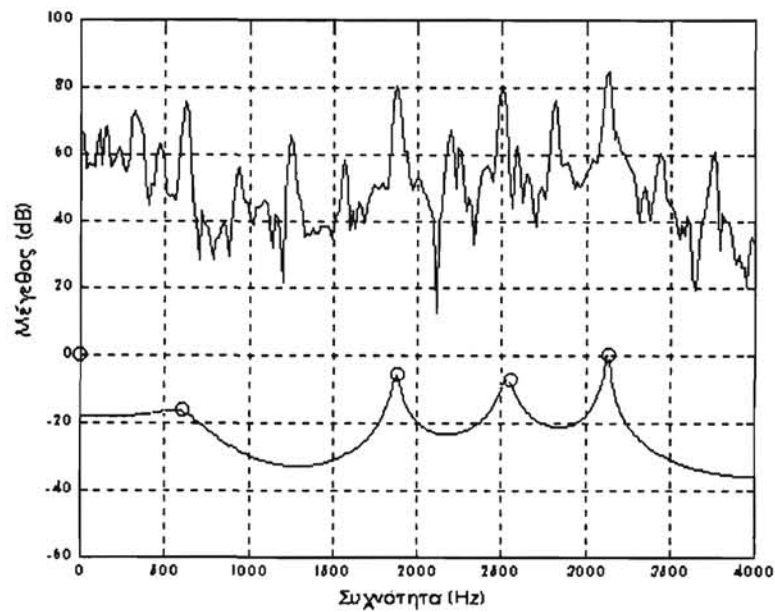
Υπολογίζεται τὸ μέγεθος τοῦ φάσματος (φασματική περιβάλλουσα) μέ τὴν μέθοδο τῆς αὐτοσυσχέτισης γιὰ κάθε ἀκολουθία δεδομένων τῆς ἀκολουθίας φωνήεντος, μέ χρήση παραθύρου Hamming. Βρίσκονται ὅλα τὰ μέγιστα γιὰ κάθε ἀκολουθία (σχῆμα 5.11α-β) καὶ ἀποθηκεύονται σέ σειρά γιὰ νά σχηματισθεῖ ἕνας πίνακας τιμῶν, τοῦ ὁποῖου ἡ μία διάσταση εἶναι ὁ αὐξοντας ἀριθμὸς ἀκολουθίας, δηλαδή ὁ χρόνος, καὶ ἡ ἄλλη διάσταση εἶναι ὁ αὐξοντας ἀριθμὸς φωνοσυντονισμοῦ, δηλαδή ἡ τάξη τοῦ φωνοσυντονισμοῦ. Ἡ γραφικὴ παράσταση αὐτοῦ τοῦ πίνακα περιέχει σειρές κουκκίδων πού πρέπει νά ἔχουν συνεχῆ μορφή, ὅπως εἰπώθηκε πρὶν, γιὰ τὴν ἀποκάλυψη τῆς φωνοσυχνοτικῆς δομῆς τῆς ἀκολουθίας δεδομένων φωνήεντος (σχ. 5.12).

Στὰ σχήματα 5.11α καὶ 5.11β παριστάνονται οἱ φασματικές περιβάλλουσες γιὰ μίᾳ ἀκολουθία δεδομένων, γιὰ τὰ φωνήεντα /α/, /ι/, ἀντίστοιχα.

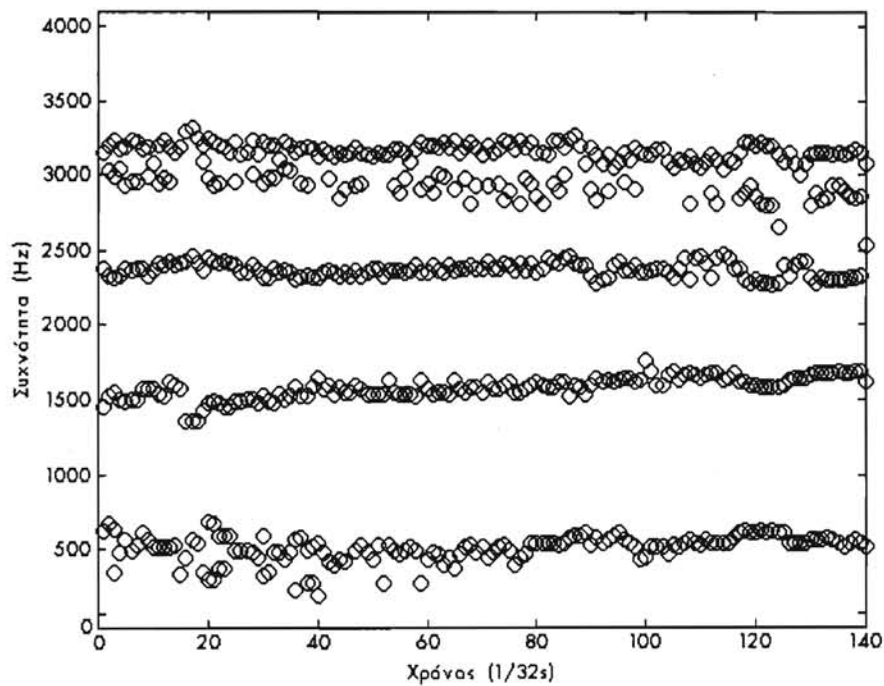
Ὅπως στὶς ἁρμονικὲς τροχιές, ἡ συνέχεια τῶν τιμῶν τῶν συχνοτήτων τῶν φωνοσυντονισμῶν μέσα στὸν χρόνο ἔχει ἰδιαίτερη σημασία ἐφόσον δέν μποροῦν νά μεταβάλλονται γρηγορότερα οἱ φωνοσυντονισμοὶ ἀπὸ τὸν ρυθμὸ πού ἐπιλέχθηκε γιὰ ἀνάλυση, δηλαδή μεγαλύτερο ἀπὸ 1/32sec. Ἐτσι, τιμές πού διακόπτουν τὴν συνέχεια (ὀμαλότητα) τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν ἀπορρίπτονται ἢ διορθώνονται. Ἐδῶ προτιμήθηκε ἡ πρώτη ἐπιλογή τῆς ἀπόρριψης.



Σχῆμα 5.11α Τὸ περιοδόγραμμα μιᾶς ἀκολουθίας δεδομένων μήκους 256 (1/32sec), ἀπὸ μίᾳ ἀκολουθία δεδομένων φωνήεντος, γιὰ τὸ φωνήεν /α/ καθὼς καὶ τὸ μέγεθος φάσματος τοῦ φίλτρου AR τὸ ὁποῖο κατασκευάζεται μέ τὴν μέθοδο αὐτοσυσχέτισης.



Σχήμα 5.11β Τό ίδιο όπως ανωτέρω αλλά για τό φωνήεν /λ/.



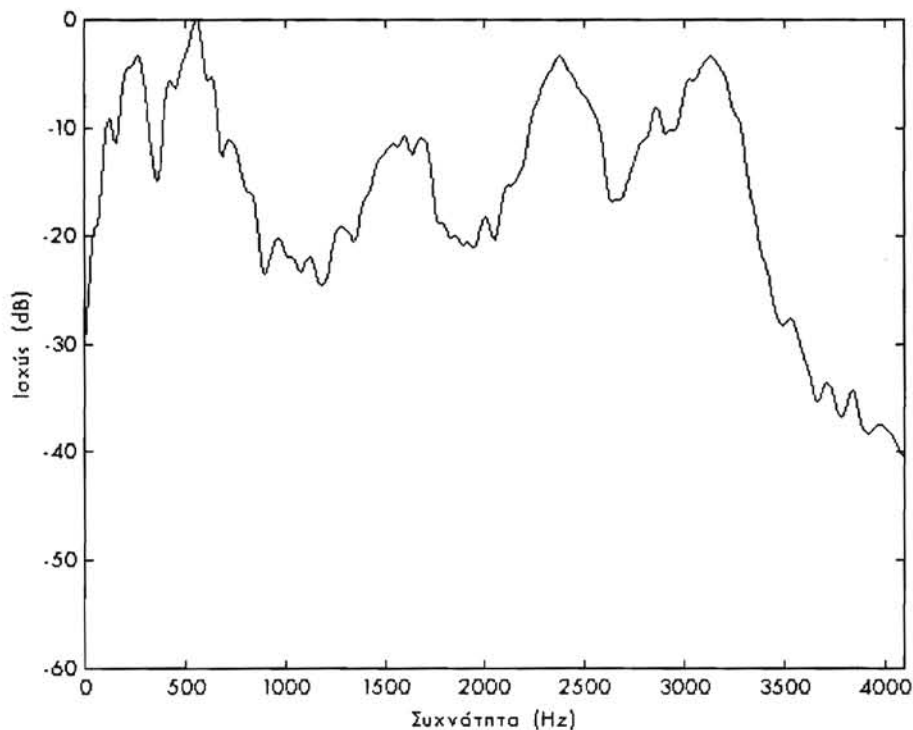
Σχήμα 5.12 Φωνοσυχνοτικές τροχιές μιᾶς ἀκολουθίας δεδομένων φωνήεντος (/ε/), οἱ ὁποῖες ἀποτελοῦνται ἀπὸ σειρές κουκκίδων πού κάθεμιᾶ ἀντιστοιχεῖ σέ μία κορυφή τῆς φασματικῆς περιβάλλουσας γιὰ κάθε ἀκολουθία δεδομένων μήκους 256 (1/32sec) ὅπως προκύπτουν ἀπὸ διαδοχικές στὸν χρόνο ἀκολουθίες δεδομένων. Κάθε τροχιά ἀντιστοιχεῖ σ' ἓναν φωνοσυντονισμό ἐνῶ τυχαῖες τιμές δέν ἀποτελοῦν φωνοσυντονισμούς.

Τά γραφήματα τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν εἶναι πάρα πολύ χρήσιμα γιὰ τήν ἐκτίμηση τῶν φορμαντικῶν συχνοτήτων μέ τήν μέθοδο τῆς αὐτοσυσχέτισης (Markel) ἐπειδή μπορούμε νά θεωρήσουμε ὅτι ἀντιστοιχοῦν σέ φωνοσυντονισμούς μόνο οἱ τροχιές ἐκεῖνες πού δέν διακόπτονται ἀλλά ἀποτελοῦνται ἀπό συνεχεῖς κουκκίδες.

Τυχαῖες κουκκίδες δέν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν, γιὰ τοὺς ἀνωτέρω λόγους, ἀλλά καί γιατί δέν εἶναι δυνατόν, σέ σταθερῆς ἀντίληψης κρατημένες, νότες, νά παρουσιάζονται τυχειότητα. Παρόλο πού ὑπάρχουν μέθοδοι λείανσης τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν, στήν παρούσα ἐργασία δέν ἐφαρμόσθηκε καμμία τέτοια λείανση ἐπειδή ἡ ἐρευνα ἀναζητοῦσε μέσους ὅρους συχνοτήτων καί ἰσχύων τῶν φωνοσυντονισμῶν.

Ἡ μέθοδος αὕτη μειονεκτεῖ κατὰ τό ὅτι μπορεῖ νά ἐκτιμήσει σάν φωνοσυντονισμό μιά ἰσχυρή ἀρμονική γι' αὐτό χρειάζεται ἐλεγχό καί ἐπί πλέον ἐπιβεβαίωση τῶν ἀποτελεσμάτων.

5.5.4.4 Τά μέσα φάσματα μεγάλης διάρκειας (ΜΦΜΔ)



Σχῆμα 5.13 Φασματική πυκνότητα ἰσχύος ΦΠΙ μέ τήν μέθοδο Welch ἀντίστοιχο τοῦ φασματογραφήματος τοῦ σχήματος 5.12 ὅπου ἡ παρουσία τεσσάρων χονδρῶν κορυφῶν ἀντίστοιχων τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν τοῦ σχ. 5.12 ἐπιβεβαιώνει τήν ὕπαρξη τῶν τεσσάρων διακριτῶν φωνοσυντονισμῶν, ὅμως δέν διακρίνεται ὁ τέταρτος φωνοσυντονισμός πού συγχέεται μέ τόν πέμπτο.

Ἡ μέθοδος εύρεσης της ΦΠΙ μέ τήν κλασσική μέθοδο Weltch ἡ οποία βρίσκει τόν μέσο ὄρο (averaging) φασμάτων (περιοδογραμμάτων - periodograms) μέ ἐπικάλυψη 50%, ὁδηγεῖ στήν σχεδίαση τοῦ μέσου φάσματος μεγάλης διάρκειας γιά τήν ἀκολουθία φωνήεντος (σχ. 5.13). Ἐπίσης σχεδιάστηκε καί τό ΜΦΜΔ γιά τό σύνολο τῶν φωνηέντων ἑνός ψαλτικοῦ δείγματος γιά τόν λόγο πού ἤδη ἀναφέρθηκε ἀλλά καί ἄλλους πού θά ἀναφερθοῦν στήν ἐπόμενη παράγραφο.

Τά ΜΦΜΔ χρησιμοποιοῦνται γιά τόν τελικό καθορισμό τῶν φωνοσυντονισμῶν σέ συνδυασμό μέ τά ἄλλα διαγράμματα (βλ. σχῆμα 5.3).

5.5.4.5 Ὁ ἀλγόριθμος ἐκτίμησης τῶν φωνοσυντονισμῶν

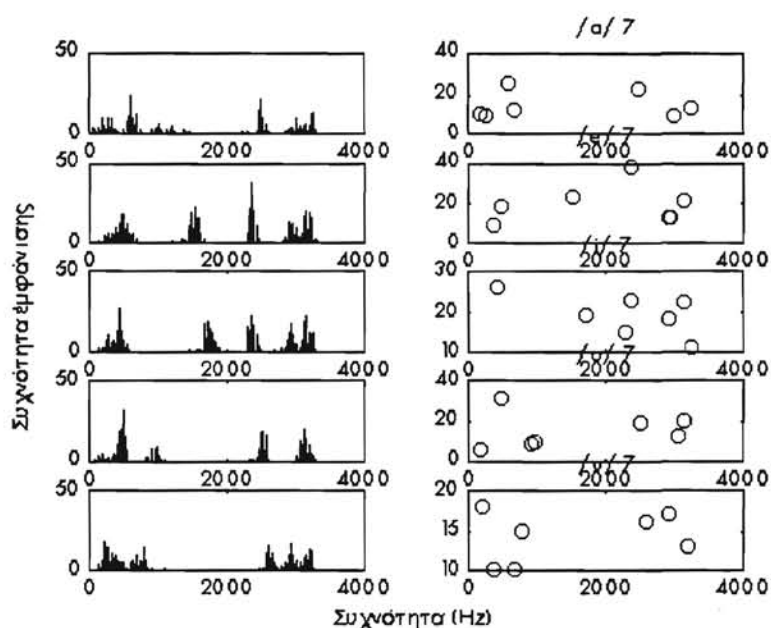
Οἱ φωνοσυντονισμοί χαρακτηρίζονται ἀπό τήν θέση τους (location) στό φάσμα καί ἀπό τήν ἰσχύ τους (level). Ἐνα ἄλλο χαρακτηριστικό, τό ὅποιο συχνά ἀναφέρεται εἶναι τό εὖρος ζώνης τους (bandwidth). Σ' αὐτή τήν μελέτη μετρήθηκαν ὅλα τά ἄλλα χαρακτηριστικά ἐκτός ἀπό τό εὖρος τῶν φωνοσυντονισμῶν ἐπειδή δέν ἦσαν διαθέσιμες μελέτες μεταξύ ὁμιλίας καί τραγουδιοῦ σέ ἄλλα εἶδη τραγουδιοῦ, ὅπως στήν ὄπερα, ἀλλά καί γιατί ἡ ψαλμωδία ἀφορᾷ ἕνα εἶδος φωνητικῶν ἤχων πού προσομοιάζουν πολύ μέ τήν ὁμιλία ὅπως θά προκύψει ἀπό τά ἀποτελέσματα τῆς ἀνάλυσης.

Ὁ ἀλγόριθμος ἐκτίμησης τῶν φωνοσυντονισμῶν εἶναι ὁ ἀκόλουθος

1. Ἐκτίμηση τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν μιᾶς ἀκολουθίας φωνήεντος
2. Ἐπιβεβαίωση διὰ μέσου τοῦ ΜΦΜΔ καί τῶν φασματογραφημάτων
3. Ἐλεγχος γιά ψευδεῖς φωνοσυντονισμούς (φασματογράμματα)
4. Ἐλεγχος γιά πολύ κοντινούς φωνοσυντονισμούς (Τροπ. συνδιακύμανση)
5. Ἐκτίμηση τῆς συχνότητος τοῦ 1ου φωνοσυντονισμοῦ τοῦ ἴσου (φασματογράμματα - φωνοσυχνοτικές τροχιές)
6. Στατιστική ἀνάλυση τῶν τιμῶν συχνότητων κι ἐξαγωγή 10 ἐπικρατέστερων
7. Ἐπιλογή τῶν τιμῶν πού ἀντιστοιχοῦν στοὺς φωνοσυντονισμούς
 - a) Ἀπόρριψη τυχαίων τιμῶν (σποραδικά σημεῖα)
 - b) Ἀποδοχή τιμῶν ἀντίστοιχων μέ τά μέσα τῶν κορυφῶν στό ΜΦΜΔ
8. Εὖρεση τῶν τιμῶν ἰσχύος πού ἀντιστοιχοῦν στίς ἐκτιμημένες συχνότητες τῶν φωνοσυντονισμῶν.

Γιά τόν ἀνωτέρω ἀλγόριθμο ἐκτίμησης εἶναι ἀναγκαῖες κάποιες διευκρινίσεις.

Οἱ φωνοσυχνοτικές τροχιές μέ βάση τήν μέθοδο Markel παρουσιάζουν διακύμανση τῶν τιμῶν τῶν συχνότητων (σχ. 5.12) . Οἱ ἁρμονικές τροχιές γιά τήν ἴδια ἀκολουθία φωνήεντος (σχ. 5.10) καί πιά συγκεκριμένα, ἡ ἀντιπροσωπευτική τροχιά, εἶναι διαφορετική ἀπό τίς φωνοσυχνοτικές τροχιές. Εἶναι πιθανό κατὰ τήν ἐκτίμηση τῶν φωνοσυχνοτικῶν τροχιῶν μιά ἰσχυρή ἁρμονική νά θεωρηθεῖ ἐσφαλμένα φωνοσυντονισμός (Markel, 1972). Ἐτσι μιά πιθανή ὁμοιότητα μεταξύ ἁρμονικῶν καί φωνοσυχνοτικῆς τροχιάς ὁδηγεῖ στήν ἀπόρριψη ἐκείνου τοῦ φωνοσυντονισμοῦ πού ἀντιστοιχεῖ στήν τροχιά. Εἶναι γνωστό ὅτι οἱ ἁρμονικές τροχιές τῶν μερικῶν καί τῆς θεμελιώδους συχνότητος προσομοιάζουν στήν κίνηση τῆς θεμελιώδους, ἀφοῦ ἀπλῶς εἶναι ἀκέραια πολλαπλάσιά της. Ὑπάρχουν ὁμως περιπτώσεις, ὅπου ἡ κίνηση τῆς θεμελιώδους δέν εἶναι σαφής στό φασματογράμμα εἴτε ἐπειδή δέν ὑπάρχει εἴτε ἐπειδή σκεπάζεται ἀπό τήν παρουσία τοῦ «ἴσου», τό ὅποιο συνηθέστατα συνοδεύει τήν βυζαντινὴ ἐκκλησιαστικὴ ψαλμωδία.



Σχήμα 5.14 Τελική εκτίμηση της συχνότητας κάθε φωνοσυντονισμού με στατιστική. Η πιο συχνά παρατηρούμενη τιμή εκτιμάται σαν τελική συχνότητα ενός formant. Στο αριστερό μέρος του σχήματος παριστάνονται οι συχνότητες εμφάνισης κάθε τιμής συχνότητας συναρτήσει της συχνότητας και στο δεξιό μέρος η τελική εκτίμηση σαν κύκλος. Από τις πρώτες 7-10 τιμές επιλέγουμε τις 4 ή 5 συχνότερες.

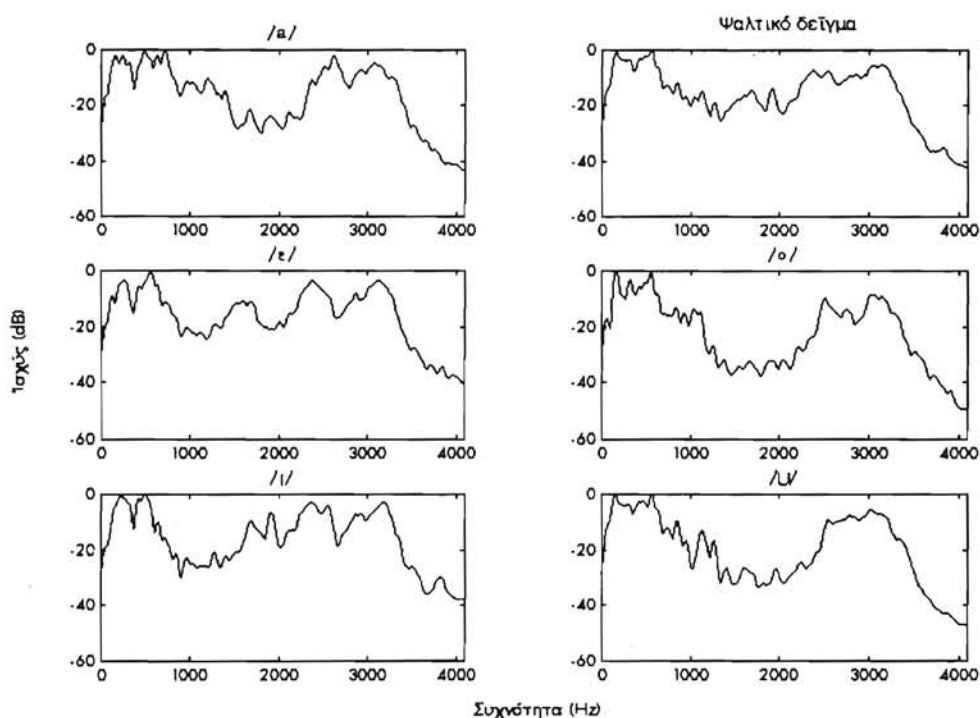
Τό «ϊσο» είναι η ταυτόχρονη συνήχηση της τονικής του συγκεκριμένου μουσικού τρόπου, δηλαδή του ήχου κατά την έκκλησιαστική όρολογία, επάνω στον οποίο βασίζεται ή ψαλμωδία. Συνήθως είναι χαμηλής έντασης και αρκετές φορές έχει την μισή από την θεμελιώδη συχνότητα της τονικής του βυζαντινού ήχου που ψάλλεται (Οικονόμου, 1992). Έτσι οι ύψηλες αρμονικές του είναι ανύπαρκτες (φώνηση με μεγάλη θεμελιώδη - Sundberg, 1987) ενώ λόγω της μελωδικής του σταθερότητας είναι σχετικά εύκολο να εντοπισθεί και να απομονωθεί από την κύρια μελωδία. Η απομόνωση του «ϊσου» κατά την εκτίμηση των φωνοσυχνοτικών τροχιών είναι απαραίτητη για να μην αλλοιωθεί ο 1ος φωνοσυντονισμός αλλά και για να προσδιορισθεί η αντιπροσωπευτική αρμονική τροχιά. Τό «ϊσο» μπορεί να μελετηθεί φασματικά και από τμήμα της ίδιας ηχογράφησης που είναι μόνο του αν και, όπως αναφέρθηκε, μόνο τόν 1ο φωνοσυντονισμό μπορεί να επηρεάσει αφού οι ύψηλες του αρμονικές είναι πάρα πολύ ασθενείς (βλ. σχήματα παρακάτω).

Κατά την εκτίμηση των συχνοτήτων των φωνοσυντονισμών εφαρμόζεται απλή στατιστική ανάλυση για την εύρεση της πιο συχνής τιμής συχνότητας, για έναν συγκεκριμένο φωνοσυντονισμό. Υπάρχει σχετική μελέτη της Ogorodnikova (1988), στην οποία αναφέρεται ότι η πιο συχνή τιμή συχνότητας γίνεται κυρίως αντιληπτή, μεταξύ ήχων διαφορετικής τονικότητας. Ποιά τιμή όμως πρέπει να επιλεγεί όταν εκτιμώνται αρκετές πολύ κοντινές τιμές με την ίδια συχνότητα εμφάνισης για τόν ίδιο φωνοσυντονισμό (βλ. σχ. 5.16); Η απάντηση δεν είναι καθόλου αυτονόητη αλλά επειδή μας ενδιαφέρει η εκτίμηση αυτής της τιμής που είναι περισσότερο

αντιληπτή από την άκοή, προτιμήθηκε η μέση τιμή των ισοδύναμων «ύποψηφίων» τιμών (σχ. 5.16).

5.5.4.6 Ανάλυση των φασμάτων ψαλτικού δείγματος

Κατά την σχεδίαση όλων των φασμάτων, ακολουθήθηκε η διαδικασία παράλληλης μελέτης όλων των φωνηέντων του ίδιου ψαλτικού δείγματος με σκοπό την παρακολούθηση της φωνής ενός ψάλτη στο σύνολο των εμφανων ήχων που κυριαρχούν μέσα στην ψαλμωδία. Τόσο τα σχεδιαγράμματα των φωνοσυχνοτικών τροχιών όσο και τα ΜΦΜΔ σχεδιάζονταν για όλα τα φωνήεντα ταυτόχρονα (σχ. 5.15, 5.16) για πληρέστερο έλεγχο της όρθης εκτίμησης των φωνοσυντονισμών.

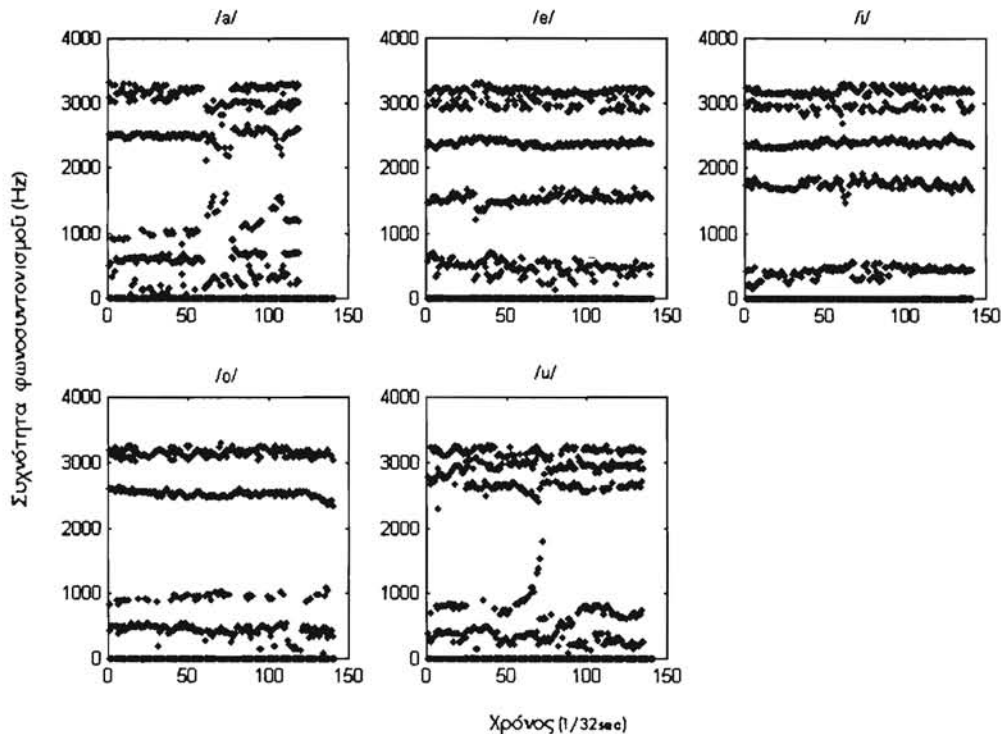


Σχήμα 5.15. Μέσα φάσματα μακράς διάρκειας (ΜΦΜΔ) για όλο το ψαλτικό δείγμα (έπάνω δεξιά) και για κάθε φωνήεν χωριστά. Η παρουσία ξεχωριστών κορυφών στη ζώνη συχνοτήτων 2-4kHz σημαίνει την σταθερότητα των υψηλής τάξης φωνοσυντονισμών μεταξύ των φωνηέντων.

Για περιπτώσεις, όπου ένας φωνοσυντονισμός σχεδόν καλύπτεται από έναν γειτονικό ισχυρότερο, ένας τρόπος έλέγχου είναι να εξεταστεί αν η φωνοσυχνοτική τροχιά που αντιστοιχεί στον ασθενή φωνοσυντονισμό εμφανίζεται σε όλα τα φωνήεντα. Αν δεν εμφανίζεται στα υπόλοιπα φωνήεντα του ίδιου ψαλτικού δείγματος τότε πρέπει να δοκιμασθεί μέθοδος ανάλυσης με καλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα στην ίδια ακολουθία φωνήεντος που παρατηρείται ο ασθενής φωνοσυντονισμός (βλ. σχ. 5.7).

Από την μελέτη των ΜΦΜΔ μπορούν νά εξαχθούν συμπεράσματα ως προς την σταθερότητα των τιμών συχνοτήτων των υψηλών φωνοσυντονισμών μεταξύ των φωνηέντων, πράγμα χρήσιμο στην εκτίμηση του είδους της φωνής, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Ένα βασικό κριτήριο γι' αυτή την εξέταση είναι το συνολικό ΜΦΜΔ για όλοκληρο τό ψαλτικό δείγμα (σχ. 5.15).

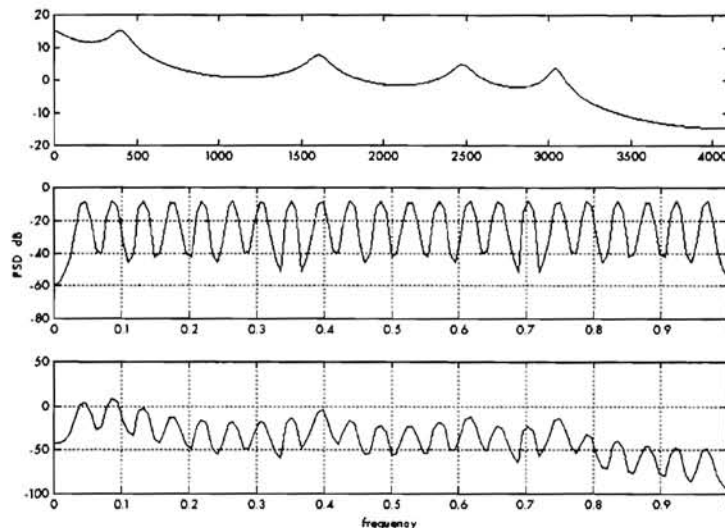
5.5.4.7 Ακρίβεια μετρήσεων της μεθόδου



Σχήμα 5.16 Αντίστοιχα γραφήματα φωνοσυχνοτικών τροχιών με τό σχήμα 5.15, στα όποια διακρίνεται μιά αντίστοιχία ανάμεσα στις φωνοσυχνοτικές τροχιές καί στις χονδρικές κορυφές των φασμάτων του σχήματος 5.15. Στην θέση των υψηλών φωνοσυντονισμών διακρίνονται δύο πολύ κοντινές γραμμές νά εξελίσσονται παράλληλα μεταξύ τους στον χρόνο για όλα τά φωνήεντα, επιβεβαιώνοντας έτσι την έγκυρότητά της.

Γιά την πλήρη γνώση της ακρίβειας των μετρήσεων της συνολικής μεθόδου εκτίμησης των φωνοσυντονισμών έπρεπε αυτή νά ελεγχθεῖ μέ τεχνητούς ήχους πού έχουν γνωστή φωνοσυχνοτική δομή καί συγκεκριμένη τονικότητα. Προς τόν σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν συνθετικοί ήχοι μέ απλή πρόσθεση αρμονικών (χωρίς νά ενδιαφέρει ή φάση) πού στή συνέχεια εφαρμόστηκαν φίλτρα διαφόρων φασματικών περιβαλλουσών (σχ. 5.17), οί όποιοι προέκυψαν από φασματική ανάλυση φωνητικών ήχων συγκεκριμένων φωνηέντων. Κάθε συνθετικός ήχος αποτελούνταν από θεμελιώδεις συχνότητες πού έβαιναν αύξανόμενες από 160Hz μέχρι 220Hz, δηλαδή νότες της μεσαίας ανδρικής φωνητικής έκτασης (βλ. κεφ. 4). Ο αριθμός των περιβαλλουσών ήταν 24. Η αντιπροσωπευτική αρμονική τροχιά είχε έτσι την

μορφή μιᾶς ανιούσας γραμμῆς γιὰ νά διακρίνεται ἀπὸ τίς φωνοσυχνοτικές τροχιές, οἱ ὁποῖες ἔπρεπε νά ἔχουν διαφορετική μορφή καί νά ὑπάρχει διακύμανση τῶν τιμῶν.



Σχῆμα 5.17. Κατασκευή συνθετικοῦ φωνητικοῦ ἤχου. Ἀπὸ ἐπάνω ἔως κάτω, τὰ γραφήματα εἶναι : ἡ φασματική περιβάλλουσα, ὁ σύνθετος ἀπὸ ἀρμονικές, ὁ φωνητικός συνθετικός ἦχος.

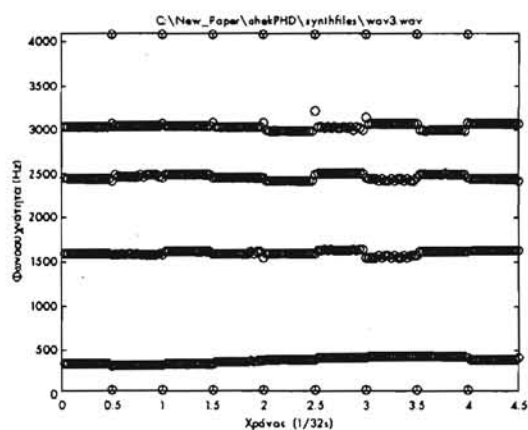
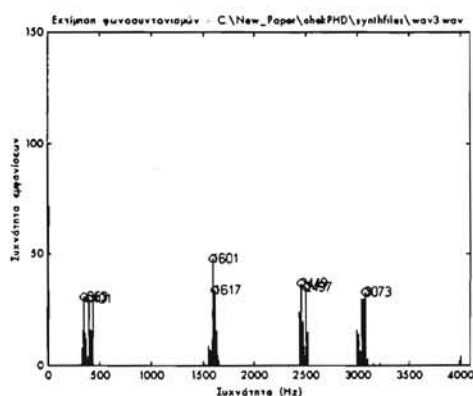
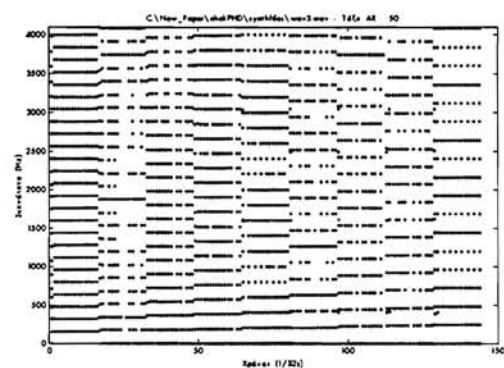
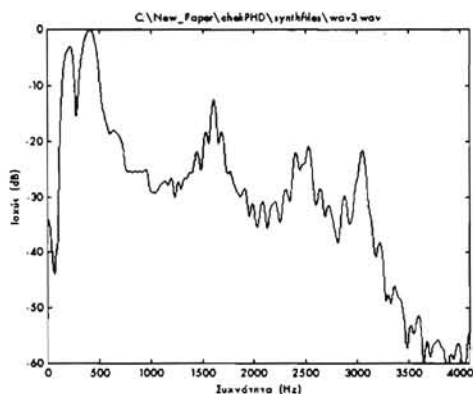
Πράγματι, ὅπως βλέπουμε στό σχῆμα 5.18 ἐνῶ οἱ ἀρμονικές τροχιές ἀκολουθοῦν ἀνιούσα μορφή, οἱ φωνοσυχνοτικές τροχιές ἀκολουθοῦν μιὰ σταθερή τροχιά, ἡ ὁποία ὁμως παρουσιάζει διακύμανση τιμῶν λόγω τῆς μεταβολῆς τῆς τονικότητας. Εἶναι ὀλοφάνερη ἡ σχεδόν ἀνιούσα τροχιά τοῦ 1ου φωνοσυντονισμοῦ καί ἐπομένως ἄμεσα ἐπιρρεαζόμενη ἀπὸ τήν τονικότητα. Σ' αὐτό τό γεγονός ὀφείλεται τό μεγαλύτερο σφάλμα ἐκτίμησης τῆς 1ης φωνοσυχνότητας ἀπὸ ὅλες τίς ἄλλες φωνοσυχνότητες (βλ. πίνακα 5.1).

Κατά τήν ἀνάλυση ἐφαρμόσθηκε ὁ ἀλγόριθμος ἀνάλυσης τῆς παραγράφου 5.4.4.4 καί τὰ ἀποτελέσματα παριστάνονται στόν πίνακα (5.1). Σύμφωνα μέ τὰ ἀνωτέρω ἡ ἐκτίμηση τῆς συχνότητας τοῦ 1ου φωνοσυντονισμοῦ παρουσιάζει τό μεγαλύτερο μέσο σφάλμα (4%), τό ὁποῖο μειώνεται καθὼς ἡ τάξη τοῦ φωνοσυντονισμοῦ αὐξάνει. Ἡ μέγιστη τιμή σφάλματος, πού μετρήθηκε, ἦταν 15% καί ἡ ἐλάχιστη εἶναι μηδενικῆς τιμῆς. Παρόλη τήν μέγιστη ἀκρότατη τιμή μόνο γιὰ τόν F1 φωνοσυντονισμό, ἡ μέση τιμή σφάλματος παραμένει ἐξαιρετικά χαμηλή, μικρότερη τοῦ 1.5% μέ μέση διακύμανση περίπου 4%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

ΟΙ μέσες τιμές τῶν σχετικῶν σφαλμάτων τῶν ἐκτιμημένων τιμῶν συχνοτήτων μέ τόν ἀλγόριθμο τῆς μεθόδου ἀνάλυσης καί οἱ ἀπόκλίσεις τους ὡς πρός τήν τάξη τοῦ φωνοσυντονισμοῦ καθώς καί οἱ ἀκρότατες τιμές σφαλμάτων πού μετρήθηκαν. Τό μεγαλύτερο σφάλμα σημειώνεται στόν F1 καί μειώνεται μέ τήν τάξη τοῦ φωνοσυντονισμοῦ.

Φων/τονισμός	ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	ΑΚΡΟΤΑΤΕΣ ΤΙΜΕΣ
F1	4.09	6.03	0.5% - 15%
F2	1.2	1.1	0.2% - 4%
F3	0.58	0.7	0% - 2.1%
F4	0.62	0.46	0% - 1.96%



Σχήμα 5.18. Τά φάσματα ἀνάλυσης τοῦ συνθετικοῦ φωνητικοῦ ἤχου. Οἱ φωνοσυχνοτικές τροχιές εἶναι διαφορετικές ἀπό τίς ἀρμονικές τροχιές καί ἡ ἐκτίμηση τῶν φωνοσυντονισμῶν εἶναι σύμφωνη μέ τό φάσμα ΜΦΜΔ

5.4.5 Διάφοροι άλλοι έλεγχοι

Κάποιες ψυχοακουστικές δοκιμές έγιναν μέ μοναδικό ύποκείμενο τόν συγγραφέα αὐτῆς τῆς διατριβῆς, ἄρα ἄτυπες, μέ σκοπό ὅμως νά ὑπάρξει μιά ἐκτίμηση τῆς ἀλ-
λοίωσης τοῦ ἡχοχρώματος σέ σχέση μέ διάφορες μεταβολές στό φᾶσμα.

Οἱ μεταβολές πού έγιναν βασίζονταν στό νά διαπιστωθεῖ ἀντιληπτικά πῶς ἀλλάζει τό ἡχόχρωμα: α) μέ ἀποκοπή διάφορων περιοχῶν συχνότητων τοῦ φάσμα-
τος, β) μέ ἐνίσχυση συγκεκριμένων περιοχῶν ἐναντι ἄλλων τοῦ φάσματος, γ) μέ
ἀφαίρεση τῆς φασματικῆς περιβάλλουσας ἀπό τό φωνητικό σῆμα καί ἐφαρμογή ἄλ-
λης φασματικῆς περιβάλλουσας, καθώς καί, δ) μέ μεταβολή τῆς κλίσης τοῦ φάσμα-
τος.

Μέ σκοπό τήν ἐπιβεβαίωση τῶν τιμῶν συχνότητων, οἱ ὁποῖες προῆλθαν ἀπό
ἄλλες ἐργασίες, γιά τούς ὀπερατικούς τραγουδιστές, δημιουργήθηκαν ἄτυπα,
ῥωσμένα ἡχητικά δείγματα ἀπό ὀπερατικές ἄριες καί ἀναλύθηκαν γιά νά
διαπιστωθεῖ τόσο ἡ παρουσία στό φᾶσμα τους τοῦ φωνοσυντονισμοῦ τοῦ
τραγουδιστῆ ὅσο καί ἡ προσέγγιση τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν στό ὀπερατικό
τραγούδι. Πιο συγκεκριμένα, συγκρίθηκαν οἱ φωνοσυχνοτικές τροχιές μεταξύ τῶν
ἡχογραφημάτων ἐνός ψάλτη μέ σωματική διάπλαση τενόρου καί ἐνός ὀπερατικοῦ
τενόρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

6.1 Είσαγωγή

Όπως ήδη αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τό ανθρώπινο σύστημα παραγωγής της φωνής περιλαμβάνει τīs φωνητικές χορδές, τήν φωνητική οδό, καί τό σύστημα αναπνοής.

Οί πρώτες δημιουργοῦν τήν πηγαία φωνή, βάσει κάποιου συγκεκριμένου τρόπου φώνησης, ἐνῶ τό δεύτερο, λειτουργῶντας σάν φίλτρο, διαμορφώνει αὐτό τό πηγαῖο σήμα κατάλληλα. Τό τρίτο ἀπλῶς λειτουργεῖ σάν ἐκτοξευτής ἀέρος - πηγή ἐνέργειας, πού δονεῖ μέ μεταβλητό πλᾶτος τīs φωνητικές χορδές.

Τό τελικό φωνητικό σήμα περιέχει ἐνισχυμένες συχνотικές περιοχές, οί ὁποῖες λέγονται *formants* ἢ φωνοσυντονισμοί ἐπεὶδὴ διαμορφώνουν τό φᾶσμα τῆς πηγαίας φωνῆς. Οί θέσεις τους στό φᾶσμα, δηλαδή οί συχνότητες στίς ὁποῖες αὐτά τά μέγιστα ἐμφανίζονται (φωνοσυντονιστικές συχνότητες), καθορίζουν τό τίμπρο ἢ τήν ποιότητα τοῦ ἤχου πού ἀκούγεται (Sundberg, 1987), καί ἡ ὁποία ἀφορᾷ τόσο στήν ποιότητα πού τά διακρίνει σάν φωνήνετα ὅσο καί στό ἀτομικό φωνητικό χρῶμα.

Στήν ἡχοχρωματική ποιότητα τῶν φωνηέντων συνεισφέρουν κυρίως οί δύο πρώτοι φωνοσυντονισμοί, ἐνῶ οί μεγαλύτερης τάξης φωνοσυντονισμοί κυρίως συμμετέχουν στήν ἀκουστική ἀντίληψη τοῦ ἰδιαίτερου ἡχοχρώματος τῆς φωνῆς δ-ταν τό φωνῆεν παραμένει τό ἴδιο. Οί σχετικές ἰσχύες τῶν φωνοσυντονισμῶν μεταξύ τους, προφανῶς, ρυθμίζουν τήν κλίμακα τῆς «διακύμανσης» τοῦ ἡχοχρώματος ἢ καί ἀκόμη, μερικές φορές τήν πλήρη ἀλλαγὴ του, ἀνάλογα μέ τούς διαφόρους συσχετισμούς τους.

Ὑπάρχει λοιπόν μία καμπύλη - φασματική περιβάλλουσα, ἡ ὁποία, διαμορφώνοντας τό πηγαῖο φᾶσμα βάσει τῶν φωνοσυντονισμῶν, σχηματοποιεῖ μία τελική καμπύλη ἡ ὁποία περιέχει καί στοιχεῖα τοῦ πηγαίου φάσματος καί τῆς ἐκπομπῆς τῶν χειλιῶν (βλ. κεφ. 5). Αὐτή ἡ φασματική περιβάλλουσα ἐξάγεται τελικά ἀπό τό σήμα ψαλμωδίας σύμφωνα μέ ὅσα ἀναφέρθηκαν ἤδη στά προηγούμενα κεφάλαια.

Ἡ συγκριτική μελέτη πολλῶν τέτοιων φασματικῶν περιβαλλουσῶν μπορεῖ νά μᾶς δώσει διαφορές καί ὁμοιότητες μεταξύ τους καί κατ' ἐπέκταση στά ἡχοχρώματα τῶν σημάτων ψαλμωδίας ἀπό τά ὁποῖα παράγονται. Παρακάτω θά περιγραφοῦν λεπτομερῶς τά συγκριτικά ἀποτελέσματα, τά ὁποῖα προέκυψαν ἀφοῦ κάνουμε μία περιγραφή τοῦ ὕλικου πού χρησιμοποιήσαμε καί ἓναν ἐλεγχο τῆς ἀξιοπιστίας του. Ἡ περιγραφή τοῦ ὕλικου συνδέεται μέ τόν ἄμεσο ἐλεγχο τῆς ἀξιοπιστίας του κι αὐτός μέ τή σειρά του ἐξαρτᾶται εὐθέως ἀπό τά ἀποτελέσματα. Ἐτσι κρίθηκε καταληγότερο, νά ἐξεταστεῖ τό ὕλικό σ' αὐτό τό κεφάλαιο.

6.2 Ἡ ἐπιλογή τοῦ ὕλικου

Ἡ ἐπιλογή τοῦ ὕλικου συνίσταται σέ δύο βασικές ἐργασίες: ἀφ' ἐνός στήν συλλογὴ ἡχητικοῦ ὕλικου ποικίλης προελεύσεως ἀφ' ἑτέρου στήν ἐξαγωγή τῶν κατάλληλων ἀποσπασμάτων τά ὁποῖα θά ἀναλυθοῦν. Πιό συγκεκριμένα:

α) Ἡ πρώτη ἐργασία ἀναφέρεται στήν συγκέντρωση καταλλήλων δειγμάτων-ἡχογραφημάτων σέ ὅποιοδήποτε μέσο, ὅπως: παλαιοί δίσκοι 78 στροφῶν, δίσκοι 33 καί 45 στροφῶν, ἡχογραφήσεις σέ μαγνητικές ταινίες καί σέ ὀπτικούς δίσκους (cds). Ἡ συλλογή αὐτή ἀφορᾷ στήν, ὅσο τό δυνατόν, συμπερίληψη περισσότερων ψαλτικῶν φωνῶν καί κάτω ἀπό διάφορες συνθηκές ἡχογράφησης, ἐπειδή δέν ἐνδιαφέρει ἡ ἰδιαιτερότητα τῆς ψαλτικῆς φωνῆς καθ' ἑαυτῆς, ἀλλά τοῦ τελικοῦ ἡχοχρώματος (τίμπρου) πού ἀκούγεται. Ἀκόμα, ἐπειδή δέν εἶναι δυνατόν νά ἡχογραφηθοῦν ὅλες οἱ φωνές κάτω ἀπό τίς ἴδιες συνθηκές, ἀφοῦ ἐνδιαφερόμαστε γιά μεγάλο πλῆθος φωνῶν, τό ὅποιο νά ἀποτελεῖ ἕνα πραγματικά τυχαῖο δεῖγμα φωνῶν. Ἐπίσης, ἐκεῖνο πού ἔχει σημασία γιά τήν ἀντίληψη τῆς ποιότητος τοῦ φωνητικοῦ ἡχου, εἶναι ὁ χῶρος μέσα στόν ὅποιο διαδίδεται, καί ὁ ὅποιος εἶναι ὁ χῶρος πού λειτουργεῖ ἡ φωνητική μουσική. Πρέπει ὁμως στό κάθε ψαλτικό δεῖγμα νά ἀκούγονται καθαρά τά φωνήεντα, νά μήν εἶναι μακριά τό μικρόφωνο ἀπό τόν ἱεροψάλτη, οὔτε πίσω του, ἔτσι ὥστε νά περιορίζεται ἡ ἐγγραφή ἀνακλάσεων τοῦ ναοῦ καί ἐπομένως νά μήν ὑπάρχουν οὐσιαστικές παρεμβολές. Στίς ἐγγραφές παλαιῶν δίσκων νά εἶναι, ὅσο γίνεται, τό σῆμα μειωμένου θορύβου καί ὑψηλῆς στάθμης (μεγάλου ΣΠΘ-SNR).

β) Ἡ δεύτερη ἐργασία συνίσταται στήν διαμόρφωση συγκεκριμένου ἀντιπροσωπευτικοῦ δείγματος ἀπό κάθε ἡχογράφηση, ὥστε νά περιέχει ὅλα τά φωνήεντα, σέ ἀρκετές νότες-φθόγγους καί ὅποιοδήποτε στήν μεσαία περιοχὴ τῆς συνολικῆς φωνητικῆς ἔκτασης τοῦ ἱεροψάλτη, ὥστε νά παραμένει σταθερός ὁ τρόπος τῆς ψαλμώδισής του (type of phonation), ἐπειδή στούς πολύ ὑψηλούς καί πολύ χαμηλούς μουσικούς φθόγγους «βιάζεται» κατὰ κάποιον τρόπο ἡ φωνή, ἀλλάζοντας τόν τρόπο φώνησης. Ἡ σταθερότητα τοῦ ἡχοχρώματος εἶναι τό πρῶτο μέλημα, γιά μιά πρώτη ἐρευνα στόν χῶρο τῆς φωνητικῆς τῆς ἀνατολικῆς ὀρθόδοξης ἐκκλησιαστικῆς μουσικῆς, τῆς Βυζαντινῆς Μουσικῆς, ὅπως λέγεται. Τά φωνήεντα πρέπει νά εἶναι μακρᾶς διάρκειας, γιά νά μήν ὑπάρχουν μεταβατικά φαινόμενα στήν ἐκφώνησή τους, ἐνῶ γιά τούς σκοπούς τῆς φασματικῆς ἀνάλυσης, πρέπει νά ἔχει τό καθένα τήν ἴδια περίπου ἰσχὺ ὥστε στό συνολικό ἀντιπροσωπευτικό δεῖγμα νά συνεισφέρουν κατὰ τό ἴδιο ποσοστό στήν συνολική κατανομή ἰσχύος.

Στά προηγούμενα, πρέπει νά προστεθεῖ καί τό ὅτι καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια γιά τήν, ὅσο τό δυνατόν, πληρέστερη ἐνημέρωση τοῦ ἀρχείου ἱεροψαλτικῶν δειγμάτων φωνῶν μέ φωνές ἀπό ὅλο τόν ἐλληνικό πολιτισμικό χῶρο, καθὼς καί ἀπό ὅλα τά γενικά παραδεκτά ὕφη ψαλμώδισης πού ὑπῆρξαν καί ὑπάρχουν. Σημαντικό πρόβλημα ὑπῆρξε κατὰ τόν καθορισμό τῶν κριτηρίων γιά τό τί ὀρίζεται σάν ψάλτης, ἀφοῦ εἶναι γνωστό ὅτι πολλοί, ἐκτελῶντας τό λειτούργημα τοῦ ἱεροψάλτη δέν εἶναι ἀρκετά ἐξασκημένοι γι' αὐτόν τόν σκοπό. Προσπάθησα ὥστε οἱ ἐπιλεγόμενοι ψάλτες νά ἱκανοποιοῦν τουλάχιστον τήν βασική προϋπόθεση τῆς πολυχρόνιας ὑπηρεσίας μέσα στόν ναό, πρᾶγμα τό ὅποιο ὑποτίθεται ὅτι ἐξασφαλίζει τήν ἀναγκαστική προσαρμογὴ τῆς φωνῆς τους σύμφωνα μέ τήν καθιερωμένη φωνητική παράδοση.

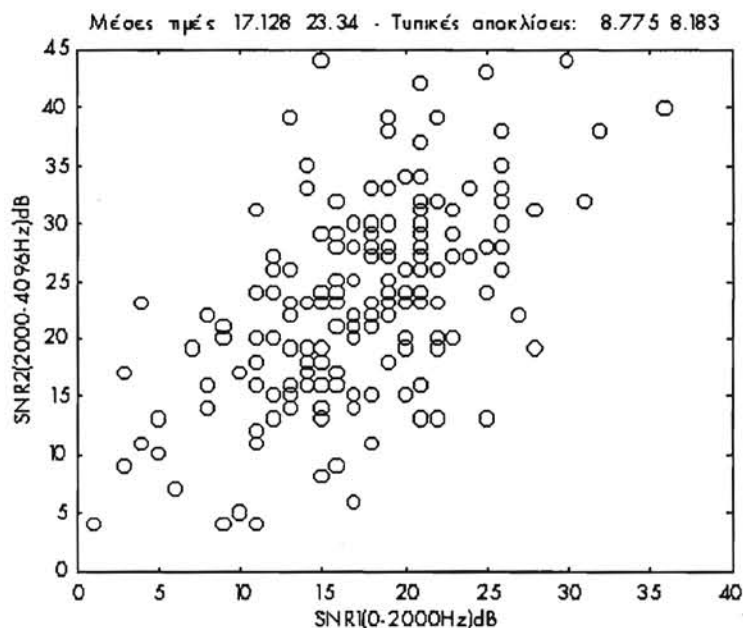
Ἐπειδή ἀναλύονται ἡχοακουστικά ἀποσπάσματα τά ὅποια ἔχουν ληφθεῖ κάτω ἀπό ποικίλες συνθηκές ἡχογράφησης γι' αὐτό χρησιμοποιοῦμε τόν ὄρο «ψαλτικά ἡχοακούσματα», ὁ ὅποιος περιλαμβάνει μαζί μέ τήν ἀτομική φωνητική ποιότητα καί τήν ἐπίδραση τοῦ χωροτεχνικοῦ τρόπου ἡχογράφησής τους, προσέχοντας, ὁμως, ὥστε νά μήν εἶναι ἀλλοιωτικός τοῦ βασικοῦ ψαλτικοῦ ἡχοχρώματος, γιά τό ὅποιο πρόκειται νά ἐξαχθοῦν συμπεράσματα σχετικά μέ τήν φωνητική ἄρθρωση (articulation).

6.3 Έλεγχος του υλικού και αποτελέσματα ανάλυσης

6.3.1 Η βασική ιδέα για τον έλεγχο του υλικού

Αναφέρθηκε ήδη η προέλευση και η ποιότητα του ήχητικού υλικού που αναλύθηκε. Τό εξαιρετικά άνομοιογενές αυτό υλικό ως προς τις συνθήκες ηχογράφησης του θα μπορούσε πραγματικά να είναι έντελως αναξιόπιστο για φασματική ανάλυση. Όμως, θα αποδειχθεί ότι για τους σκοπούς της ανάλυσής μας η άνομοιογένειά του δεν αποτελεί, πράγματι, παράγοντα αναξιοπιστίας άλλωστε δεν υπήρχε άλλος τρόπος να μελετήσουμε τόσες πολλές ψαλτικές φωνές και σέ τόσο βάθος χρόνου (περίπου έναν αιώνα) προκειμένου η εργασία αυτή να είναι αξιόπιστη ως προς τους επιστημονικούς της στόχους, μέσα στους οποίους ήταν και μία πρώτη κατηγοριοποίηση των φωνών μέσα από τα ήχοακούσματά τους.

Βασισμένος κυρίως στην μη σταθερότητα του τρόπου της άρθρωσης κατά την ψαλμώδηση για τους περισσότερους ψάλτες καθώς και στο γεγονός ότι δύο ηχογραφήσεις της ίδιας φωνής κάτω από διαφορετικές ηχοληπτικές συνθήκες εμφανίζουν διαφοροποιημένες τιμές φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων, έκανα την απλή υπόθεση ότι αν η διαφοροποίηση εξ αιτίας της άρθρωσης είναι μεγαλύτερη από εκείνη εξ αιτίας των συνθηκών τότε η μέτρηση κάθε φωνοσυντονιστικής συχνότητας ήδη υφίσταται μία άβεβαιότητα συμφυή της φωνής, που επικαλύπτει εκείνη λόγω των συνθηκών, για μακροσκοπική μέτρηση μιᾶς μέσης τιμής.



Σχήμα 6.1 Σχεσιόγραμμα του πηλίκου σήμα προς θόρυβο (SNR), για όλα τα ψαλτικά δείγματα, μεταξύ της χαμηλής (0-2)kHz ζώνης (οριζόντιος άξονας) και της υψηλής ζώνης (2-4)kHz του φάσματος. Η μέση τιμή ΣΠΘ της χαμηλής ζώνης είναι 17dB και της υψηλής 23dB.

Γιά να είναι αξιόπιστη η μέτρηση μιᾶς μέσης τιμῆς για τὸ ἀνομοιογενές σύνολο ἡχογραφήσεων πρέπει αὐτή νά μήν διαφέρει πολύ, δηλαδή νά εἶναι παραπλήσια, μέ τήν μέση τιμή πού ὑπολογίζεται γιά ἓνα ὁμοιογενές σύνολο ἡχογραφήσεων, πού δημιουργεῖται ἀπό ἡχογραφήσεις κάτω ἀπό τίς ἴδιες συνθῆκες ἡχοληψίας. Ἐτσι μέ ἀπλῆ στατιστική ἀνάλυση μπορούμε νά συμπεράνουμε γιά τήν ὀρθότητα τῶν ἀποτελεσμάτων.

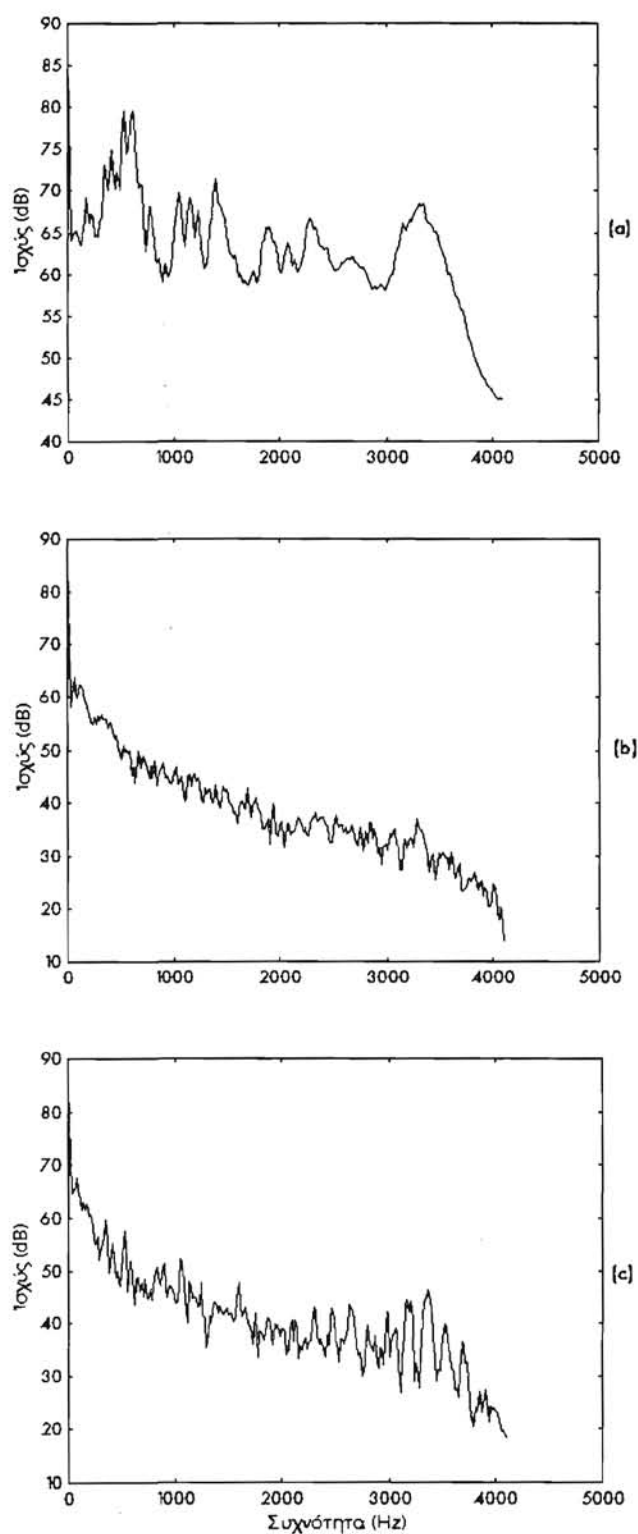
Στό σχῆμα (6.1) παριστάνεται ἓνα σχεσιόγραμμα μεταξύ τῶν πηλίκων σῆμα πρὸς θόρυβο (ΣΠΘ) (signal to noise ratio - SNR), γιά τίς περιοχές συχνοτήτων χαμηλῆς ζώνης (0-2kHz) καί ὑψηλῆς ζώνης (2-4kHz). Ἐξετάζοντας τὸ σχῆμα (6.1) θά παρατηρήσουμε τήν τάση τοῦ θορύβου νά εἶναι χαμηλῶν συχνοτήτων ἐνῶ στίς ὑψηλότερες συχνότητες τείνει ἢ νά ἔχει χαμηλή σταθερή ἰσχύ ἢ νά ἐλλατώνεται μέ τήν συχνότητα (μεγαλύτερη τιμή SNR στήν ὑψηλή περιοχή 2-4kHz). Ἐτσι ἡ ἐπίδραση τοῦ θορύβου στίς μετρήσεις εἶναι μεγαλύτερη στήν χαμηλή περιοχή 0-2kHz καί μικρότερη στήν ὑψηλή περιοχή. Παρόλα αὐτά ἡ τιμή τοῦ πηλίκου ΣΠΘ εἶναι σχετικά καλή γιά τὸ σύνολο τῶν ψαλτικῶν δειγμάτων 17dB καί 23dB γιά τήν χαμηλή καί ὑψηλή περιοχή συχνοτήτων ἀντίστοιχα.

Στήν ἔρευνα χρησιμοποιήθηκαν τρία σύνολα δεδομένων. Τό πρῶτο ἀποτελεῖται ἀπό ἓνα μεγάλο ἀριθμό ψαλμωδῶν ἀπό ποικίλους ψάλτες καταγεγραμμένων μέσα σέ μεγάλη χρονική περίοδο πού ἀρχίζει ἀπό τίς ἀρχές τοῦ αἰῶνα μας καί φθάνει μέχρι σήμερα. Αὐτό τὸ ὕλικό ἀνήκει σέ προσωπικό ἀρχεῖο τοῦ συγγραφέα. Ὁ μέσος ὅρος τοῦ λόγου σῆμα πρὸς θόρυβο γι' αὐτό τὸ σύνολο ἦταν περίπου 10dB γιά τήν περιοχή τοῦ φάσματος 0 - 2kHz καί 25dB γιά τήν περιοχή συχνοτήτων 2 - 4kHz μέ τυπικές αποκλίσεις τιμῶν περίπου 3dB καί 7dB ἀντίστοιχα.

Τά σχήματα 6.2(a) - (c) δείχνουν τρία τυπικά φάσματα ἀπ' αὐτό τὸ σύνολο δεδομένων τά ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν σέ ἓνα κομμάτι ψαλμωδήματος, στό θόρυβο τοῦ κομματιοῦ καί στό ἰσοκράτημά του. Μελετῶντας τόσο τὸ φάσμα τοῦ θορύβου ὅσο καί τοῦ ἰσοκρατήματος μπορεῖ κανεὶς νά διαπιστώσει ὅτι καί τά δύο αὐτά σήματα κατανέμουν τήν ἐνέργειά τους στίς χαμηλές συχνότητες ἐνῶ ἐμφανίζουν ἢ μιὰ σταθερή πτώση τῆς ἰσχύος ἀνά συχνότητα (σχ. 6.2(b-c)) ἢ μιὰ σταθερή ἰσχύ στίς μεσαῖες καί ὑψηλές συχνότητες (σχ. 6.3(b-d)). Τό χαρακτηριστικό αὐτό γνώρισμα τοῦ θορύβου καί τοῦ ἴσου εἶναι χρήσιμο κατὰ τήν ἐκτίμηση τῶν φωνοσυντονισμῶν ἐπειδὴ ἡ φασματική ἀνάλυση μπορεῖ νά τὸ λάβει ὑπόψιν της καί νά τὸ ἀντιμετωπίσει (βλ. κεφ. 5).

Παρόλο πού τὸ ὕλικό αὐτό εἶναι ἀντιπροσωπευτικό ὡς πρὸς τά διάφορα ψαλτικά στυλ πού χρησιμοποιήθηκαν μέχρι τώρα, οἱ συνθῆκες καταγραφῆς του δεν εἶναι σαφῶς ἐλεγχόμενες καί γιά αὐτόν τόν λόγο χρειάζεται περαιτέρω ἔρευνα καί ἐπαλήθευση. Ἐτσι δημιουργήθηκαν ἄλλα δύο σύνολα δεδομένων μέ καλὰ καθορισμένες συνθῆκες καταγραφῆς.

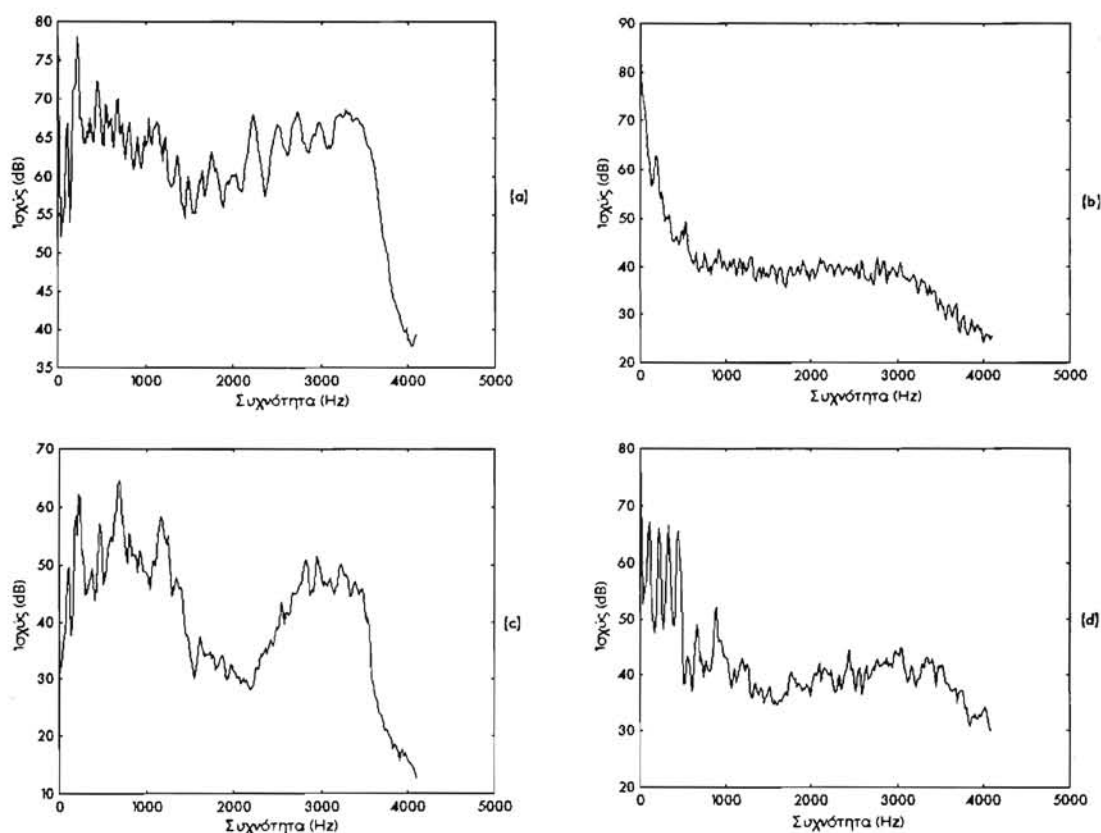
Τό δεύτερο σύνολο δεδομένων περιέχει ψαλμωδήματα ἀπό ἔμπειρους ψάλτες τά ὁποῖα καταγράφηκαν σέ θάλαμο ἡχογραφήσεων σέ μικρή ἀπόσταση ἀπὸ τὸ μικρόφωνο (περίπου 0,5m ἐμπρὸς ἀπὸ τὸ στόμα) μέσω ἐπαγγελματικοῦ μαγνητοφώνου. Οἱ λόγοι SNR στήν χαμηλή καί ὑψηλή φασματική περιοχή ἦσαν 25dB καί 30dB ἀντίστοιχα. Τό ἰσοκράτημα συνόδευε ὅλες τίς ἡχογραφήσεις καί εἶχε στάθμη ἡχου περίπου 2dB πάνω ἀπὸ τὸν θόρυβο, γιά τήν χαμηλή περιοχή, καί 3dB γιά τήν ὑψηλή περιοχή (βλ. σχ. 6.3(a) - (d)). Στό σχῆμα 6.3(d) ὑπάρχει μιὰ πολύ χαμηλή περιοχή συχνοτήτων (0 - 500Hz), ὅπου τὸ ἴσο ἔχει σχετικά ὑψηλή στάθμη (περίπου 5 - 10dB) ἀλλὰ αὐτό δεν ἐμποδίζει τήν ἐκτίμηση τοῦ F1 φωνοσυντονισμοῦ ἐξαιτίας τῶν ἐλεγχῶν, πού γίνονται μεταξύ ἀντίστοιχης φωνοσυχνοτικῆς τροχιᾶς καί ἀρμονικῆς τροχιᾶς τοῦ ἴσου, τόσο ἀνάλογα μέ ἐκεῖνον τόν ἐλεγχό γιά τήν ἐπίδρα



Σχήμα 6.2 Τρία τυπικά φάσματα ΜΦΜΔ από τό πρώτο σύνολο δεδομένων, τά όποία άντιστοιχοϋν σέ ένα τμήμα ψαλμωδήματος (a), στό θόρυβο αϋτοϋ τμήματος (b), καί στό «ΐσο» του (c). Τόσο ό θόρυβος όσο καί τό ΐσο έμφανίζουn φάσμα χαμηλῶn συχνοτήτων.

ση ισχυρής αρμονικής (βλ. κεφ. 5) όσο και μέ βάση την λεπτομερέστερη ανάλυση (μέθοδος της τροπ. συνδιακύμανσης χαμηλής τάξης) της ακολουθίας φωνήεντος. Η συχνότητα του *ϊ*σου, δηλαδή, δεν μεταβάλλεται σύμφωνα με εκείνη του F1 μέσα στον χρόνο (σχ. 6.4). Μέ βάση αυτό τό σύνολο δεδομένων υπολογίσθηκαν οί συχνότητες τών φωνοσυντονισμών και συγκρίθηκαν τά αποτελέσματα μέ εκείνα του πρώτου συνόλου.

Οί ήχογραφήσεις από τρεῖς διαφορετικούς ψάλτες, όπου, γιά τόν καθένα έγιναν καταγραφές κάτω από τρεῖς διαφορετικές συνθήκες, συνιστοῦν τό τρίτο σύνολο δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, μιά ομάδα καταγραφών έγινε σέ ἀνηχωϊκό δωμάτιο μέ μικροφωνική ἀπόσταση περίπου 0.5m, μιά ἄλλη ομάδα έγινε μέσα σέ ἐκκλησία μέ ἀντηχήσεις (μιμούμενοι κάποιες ἀπ' τίς καταγραφές του πρώτου συνόλου) στήν ἴδια μικροφωνική ἀπόσταση, καί μιά τρίτη ομάδα καταγραφών έγινε μέσα στήν ἴδια ἐκκλησία σέ μεγαλύτερη μικροφωνική ἀπόσταση (περίπου 1m). Ὁ σκοπός αὐ-



Σχῆμα 6.3. Τέσσερα τυπικά φάσματα από τό δεύτερο σύνολο δεδομένων τά ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν: a) σέ ἓνα ψαλτικό δεῖγμα, b) στόν θόρυβο αὐτοῦ του δείγματος, c) στήν ἀκολουθία φωνήεντος /a/ του δείγματος (a), καί, d) στό ἰσοκράτημά του. Ὁ θόρυβος καί τό «ἴσο» ἐμφανίζουν ὑψηλή ἐνέργεια στίς πολύ χαμηλές συχνότητες ἀλλά μέ μεγαλύτερη διαφορά ἰσχύος μεταξύ χαμηλῶν καί ὑψηλῶν συχνοτήτων ἀπό ὅτι στό 1ο σύνολο (σχ. 6.2).

του του συνόλου ήταν να προσδιορισθεί η επίδραση των διαφορετικών συνθηκών στην εκτίμηση των φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων του πρώτου συνόλου. Θα φανεϊ στη συνέχεια ότι η μέση διακύμανση για μία τιμή συχνότητας για τον ίδιο ψάλτη αλλά σε διαφορετικές συνθήκες είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με εκείνη που βρέθηκε κάτω απ' τις ίδιες συνθήκες ηχογράφησης αλλά για διαφορετικούς ψάλτες. Έτσι οι μέσες τιμές φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων, για ένα σύνολο ψαλτών, επιρρεάζονται κυρίως από τις διαφορές μεταξύ των ψαλτών ενώ οι αλλοιώσεις στις ανωτέρω τιμές λόγω διαφορετικών συνθηκών καταγραφής είναι ουσιαστικά μικρότερες από τις προηγούμενες, για τον σκοπό αυτής της μελέτης.

Τέλος, ως προς το είδος των μελωδημάτων που επιλέχθηκαν για την ανάλυση, το καταλληλότερο ήταν το άργό ή το αργοσύντομο έτσι ώστε να περιέχει μακράς διάρκειας μουσικούς φθόγγους - νότες σε κάθε φωνήεν και τονικό ύψος (pitch). Ο λόγος ήταν για να διατηρείται σε κάθε φθόγγο μία σταθερή άρθρωση έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για ένα πιθανό προφίλ του φωνητικού οργάνου που διαμορφώνει την ψαλτική φωνή. Το τονικό ύψος των μελωδημάτων επιλέχθηκε μεταξύ των C3 και La3 ώστε να είναι αυτά που συνήθως ακούγονται μέσα στους ναούς και να έχουν παραχθεί χωρίς βεβιασμένη φωνή.

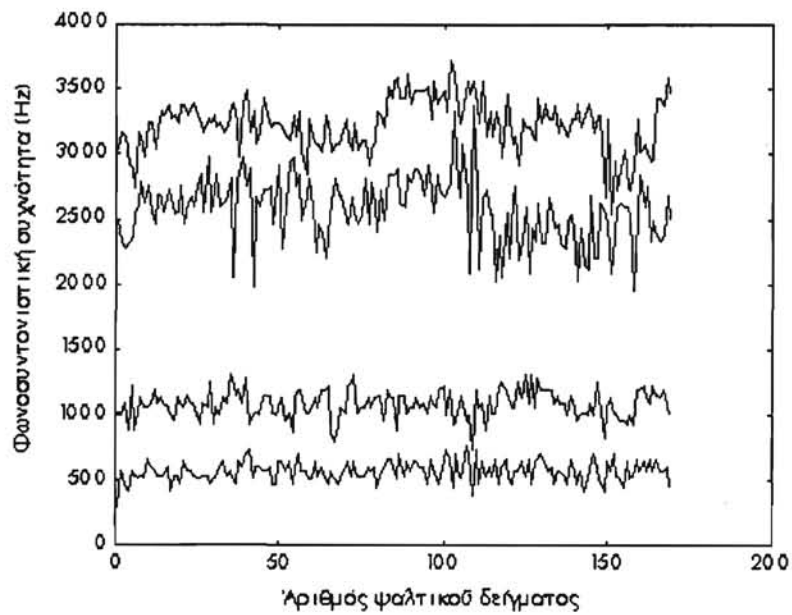
6.3.2 Γενικές παρατηρήσεις στα αποτελέσματα

Σχεδιάζοντας όλες τις αντιπροσωπευτικές φωνοσυντονιστικές συχνότητες μεγάλου αριθμού ψαλτικών δειγμάτων, για ένα συγκεκριμένο φωνήεν, για όλα τα ψαλτικά δείγματα, παρατηρούμε ότι οι δύο πρώτοι φωνοσυντονισμοί (1ος και 2ος φωνοσυντονισμός - F1, F2), παρυσιάζουν σαφή διαφοροποίηση μεταξύ διαφορετικών φωνηέντων, ενώ αντίθετα για τους ανώτερους φωνοσυντονισμούς (F3, F4, F5) δεν εμφανίζεται καμμία ουσιαστική διαφοροποίηση, εκτός μία μικρή μεταβολή στην θέση του τρίτου φωνοσυντονισμού αν προσέξει κανείς τα σχήματα 6.4α - β.

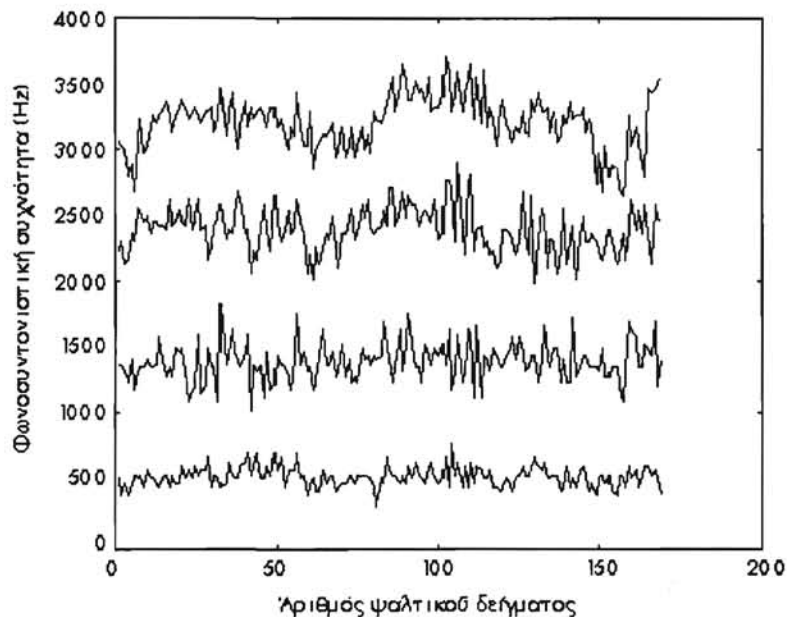
Στα σχήματα 6.4α-β παριστάνονται όλες οι φωνοσυντονιστικές μέσες συχνότητες για κάθε ψαλτικό δείγμα (ψαλτική φωνή) για τα φωνήεντα /a, ε/, για το πρώτο σύνολο δεδομένων. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνει την αρχική διατύπωση ότι οι δύο πρώτοι φωνοσυντονισμοί διαφοροποιούν τα φωνήεντα μεταξύ τους. Έτσι, για την μελέτη και σύγκριση των ψαλτικών φωνηέντων με τα αντίστοιχα της όμιλίας στην ελληνική γλώσσα αρκεί να μελετήσουμε μόνο τις δύο πρώτες φωνοσυντονιστικές συχνότητες.

Ακόμη, ως προς τον καθορισμό τυχόν πέμπτης φωνοσυντονιστικής συχνότητας μέσα στην περιοχή συχνοτήτων ανάλυσης, δηλαδή μέχρι 4kHz, πρέπει να σημειώσουμε ότι όταν υπήρχε ο 5ος φωνοσυντονισμός, εάν μέν ήταν περίπου ίσης ισχύος με τον 4ο φωνοσυντονισμό, θεωρούσα την μέση μεταξύ τους συχνότητα σαν 4η φωνοσυντονιστική συχνότητα ενώ αν ήταν ασθενέστερος απλώς τον αγνοούσα, πράγμα που ήταν και το συνηθέστερο. Αυτό γινόταν για λόγους ενιαίας περιγραφής των ψαλτικών φωνών και εύκολης σύγκρισης μεταξύ τους.

Ως προς τους ανώτερους φωνοσυντονισμούς, έγινε μία πρώτη ομαδοποίηση των φασμάτων ΜΦΜΔ, όπτικά, δημιουργώντας ομάδες όμοιων μεταξύ τους σχημάτων ως προς την υψηλή περιοχή του φάσματος. Αυτή ήταν και η πρώτη γενική παρατήρηση όσον αφορά στην ομοιότητα των φασμάτων. Το ερώτημα ήταν αν αυτές οι ομοιότητες σήμαιναν κάτι ως προς τον αντικειμενικό στόχο, δηλαδή, τα ήχοχρώματα. Έγιναν διάφορες δοκιμές με φίλτρα για να διαπιστωθεί ακουστικά η επίδραση ωρισμένων περιοχών του φάσματος στο αντιλαμβανόμενο ήχοχρώμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σχετικές θέσεις στο φάσμα των υψηλών φωνοσυντονι-



Σχήμα 6.4α Οι τέσσερις πρώτες μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες για τό φωνήεν /a/ όλων τών ψαλτικών δειγμάτων όπου διακρίνεται ή διαφοροποίηση μεταξύ τους στους φωνοσυντονισμούς ύψηλης τάξης.



Σχήμα 6.4β Τό ίδιο μέ τό άνωτέρω σχήμα αλλά για τό φωνήεν /ε/. Η διαφοροποίηση μεταξύ τών ύψηλών φωνοσυντονισμών ύπάρχει, όπως στό σχ. 6.4α, όμως ή διαφορά μεταξύ τών συχνοτήτων τους έχει αύξηθεϊ, όπως επίσης καί τών χαμηλών F1, καί F2.

σμών παίζουν σημαντικό ρόλο στο ήχοχρωμα, πράγμα που έμμεσα συμπεραίνεται και από την μεταβολή των υψηλών φωνοσυντονισμών στην περίπτωση του όπερατικού τραγουδιού, που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Δοκιμές επίσης έγιναν με τις φασματικές περιβάλλουσες και την λεπτή δομή του φάσματος της φωνής. Η λεπτή δομή είναι ό,τι απομένει στο φάσμα αν αφαιρεθεί η φασματική περιβάλλουσα (Κουρουπέτρογλου, 1998). Αν εφαρμοσθεί μία φασματική περιβάλλουσα από ένα φωνήεν για μία ψαλτική φωνή στην λεπτή δομή ενός φάσματος από άλλη φωνή, για κάποιο φωνήεν, παράγεται ένα ήχοχρωμα, τό οποίο αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο φωνήεν αλλά δεν είναι σαφές τό συνολικό ήχοχρωμά της. Μπορεί νά μοιάζει στο αρχικό μπορεί όμως και όχι. Αυτό φανερώνει την επίδραση κι άλλων παραγόντων στο ήχοχρωμα οι οποίοι, όμως, δεν αποτελούν αντικείμενο αυτής της εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1

Μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες και μέσες στάθμες ισχύος των φωνοσυντονισμών για τό πρώτο και δεύτερο σύνολο δεδομένων μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις των τιμών τους. Οι μέσες τιμές συχνοτήτων είναι μεταξύ των δύο συνόλων συγκρίσιμες ενώ οι τυπικές αποκλίσεις του πρώτου συνόλου είναι γενικά μεγαλύτερες εκείνων του πρώτου συνόλου. Οι μέσες τιμές των ισχύων τους είναι επίσης συγκρίσιμες μεταξύ των δύο συνόλων.

Φωνήεν-Formants	F1 (Hz)	sdF1	F2 (Hz)	SdF2	level_F1	sd_levelF1	level_F2	sd_levelF2	
/a/	574	79	1083	105	0	2	-4	5	Πρώτο
/e/	530	76	1395	146	-1	2	-7	8	Σέτ
/i/	387	78	1785	173	-1	3	-9	10	
/o/	499	75	949	107	0	1	-5	7	
/u/	421	80	925	157	0	2	-8	8	
/a/	500	77	1014	76	-1	1	-4	4	Δεύτερο
/e/	466	37	1356	136	-1	2	-6	6	Σέτ
/i/	349	35	1674	144	-1	2	-10	7	
/o/	420	49	869	80	-1	1	-5	5	
/u/	362	47	817	127	0	0	-7	5	
Φωνήεν-Formants	F3 (Hz)	sdF3	F4 (Hz)	SdF4	level_F3	sd_levelF3	level_F4	sd_levelF4	
/a/	2580	248	3228	200	-18	10	-18	10	Πρώτο
/e/	2406	172	3218	204	-16	10	-18	10	Σέτ
/i/	2364	189	3221	201	-13	11	-16	12	
/o/	2590	266	3210	198	-21	11	-20	12	
/u/	2556	272	3200	190	-23	13	-22	12	
/a/	2529	242	3064	141	-16	8	-12	7	Δεύτερο
/e/	2308	176	2974	159	-12	7	-9	6	Σέτ
/i/	2212	180	2985	159	-14	8	-11	8	
/o/	2501	241	3039	135	-22	11	-14	7	
/u/	2475	244	3014	155	-19	9	-15	8	

6.3.3 Σχέση φωνηέντων όμιλίας και ψαλμωδίας

Η ανάλυση των 930 ψαλτικών δειγμάτων (186 ψαλτικές φωνές * 5 φωνήεντα ή κάθε μία) έδωσε τά αποτελέσματα του πίνακα 6.1 για όλους τούς φωνοσυντονισμούς, για τά δύο πρώτα σύνολα δεδομένων.

Οι μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες και οι ισχύες τους με τις αντίστοιχες τυπικές τους αποκλίσεις για τό πρώτο και δεύτερο σύνολο ψαλτικών δειγμάτων, για κάθε φωνήεν παριστάνονται στον πίνακα 6.1. Οι μέσες τιμές συχνότητων είναι μεταξύ των δύο συνόλων συγκρίσιμες ενώ οι τυπικές αποκλίσεις του πρώτου συνόλου είναι γενικά μεγαλύτερες εκείνων του πρώτου συνόλου. Οι μέσες τιμές των ισχύων τους είναι επίσης συγκρίσιμες μεταξύ των δύο συνόλων.

Δεδομένα των τριών πρώτων φωνοσυντονιστικών συχνότητων για την ελληνική ομιλία έχουν ληφθεί από την εργασία του Ν. Φακοτάκη (Πανεπιστήμιο Πατρών, 1986), από την εργασία του Ί. Όρφανου (ΕΜΠ, 1987), καθώς και από την εργασία των Όρφανου - Κουρουπέτρογλου - Βουδούρη (1983) και παριστάνονται στον πίνακα 6.2.

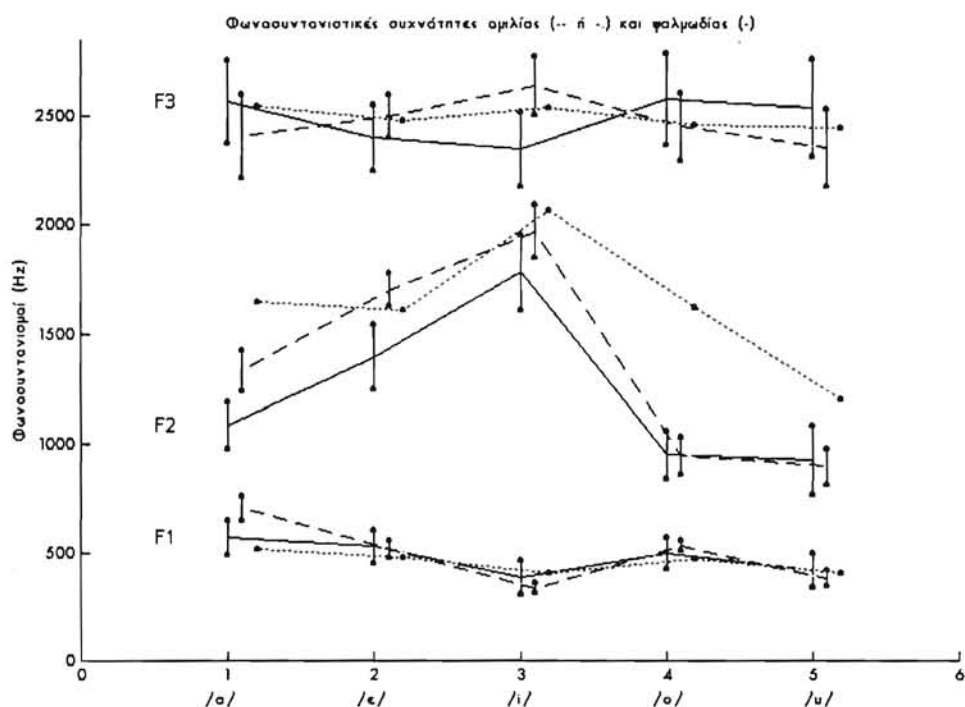
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2

Οι τρεις πρώτες μέσες τιμές φωνοσυντονιστικών συχνότητων για την ελληνική ομιλία (Φακοτάκης, 1986, Όρφανός, 1987) και οι αποκλίσεις τους (έκτός των δεδομένων του Φακοτάκη). Για λόγους άμεσης σύγκρισης παρατίθενται και τα δεδομένα για την ψαλμωδία, του πρώτου συνόλου του πίνακα 6.1.

Φωνοσυντονισμός Φωνήεν	Μέσος F1 (Hz)	Τυπική από- κλιση F1(Hz)	Μέσος F2 (Hz)	Τυπική από- κλιση F2(Hz)	Μέσος F3 (Hz)	Τυπική από- κλιση F3(Hz)	Προέλευση δεδομένων
/α/	574	79	1083	105	2565	191	Ψαλμωδία 1ο
/ε/	530	76	1395	146	2404	153	>>
/ι/	387	78	1785	173	2353	171	>>
/ο/	499	75	949	107	2580	208	>>
/υ/	421	80	925	157	2544	223	>>
/α/	520		1650		2550		Φακοτάκης
/ε/	480		1610		2480		>>
/ι/	410		2070		2540		>>
/ο/	470		1620		2460		>>
/υ/	410		1200		2450		>>
/α/	706	56	1331	93	2409	191	Όρφανός Α
/ε/	518	37	1703	75	2501	99	>>
/ι/	336	23	1972	123	2643	135	>>
/ο/	532	23	948	85	2453	153	>>
/υ/	384	36	898	83	2359	178	>>
/α/	714	59	1286	81	2382	250	Όρφανός Β
/ε/	540	53	1637	70	2481	237	>>
/ι/	349	29	1923	91	2572	251	>>
/ο/	561	42	1014	89	2323	221	>>
/υ/	394	43	989	152	2180	176	>>
/α/	715	66	1290	89	2397	248	(Όρφανός - Κουρουπέ- τρογλου - 1983)
/ε/	544	55	1645	79	2474	232	
/ι/	350	33	1941	109	2584	255	
/ο/	565	49	1018	117	2392	232	
/υ/	400	54	989	179	2191	181	

Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές των συχνοτήτων του πίνακα 6.1 για όλους τους φωνοσυντονισμούς με τις αντίστοιχες του πίνακα 6.2 για την όμιλία, συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

1) Η μέση φωνοσυντονιστική συχνότητα του F2 είναι συστηματικά μικρότερη στην ψαλμωδία από εκείνη της όμιλίας και για τα δύο σύνολα δεδομένων ψαλμωδίας του πίνακα 6.1, για καθένα φωνήεν από τα /a, ε, Ι, ο, U/, για τα δεδομένα Φακοτάκη (1986) ενώ για τα δεδομένα Όρφانوῦ (1987) αυτό ισχύει μόνο για τα /a, ε, Ι/. Οι αποκλίσεις των τιμών φανερώνουν μία σαφή διάκριση μεταξύ όμιλίας και ψαλμωδίας για τα φωνήεντα /a, ε/ ενώ υπάρχει μικρή έπικάλυψη για το φωνήεν /Ι/ (σχ. 6.5).



Σχήμα 6.5 Οι τρεις πρώτες μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες για το πρώτο σύνολο δεδομένων με τις αποκλίσεις τους, σε σχέση με τις αντίστοιχες της όμιλίας του πίνακα 6.2. Η μέση φωνοσυντονιστική συχνότητα του F2 είναι συστηματικά μικρότερη στην ψαλμωδία από εκείνη της όμιλίας και για τα δύο σύνολα δεδομένων ψαλμωδίας, για καθένα φωνήεν από τα /a, ε, Ι, ο, U/, για δεδομένα Φακοτάκη ενώ για τα δεδομένα Όρφانوῦ αυτό ισχύει μόνο για τα /a, ε, Ι/. Η τρίτη φωνοσυντονιστική συχνότητα εμφανίζει την τάση να είναι μικρότερη στην ψαλμωδία για τα εμπρόσθια φωνήεντα /ε, Ι/ αλλά μεγαλύτερη για τα όπισθια /a, ο, U/ για όλα τα δεδομένα όμιλίας.

2) Οι μέσες τιμές της συχνότητας του F1 και για τα δύο σύνολα δεδομένων είναι συγκρίσιμες με εκείνες της όμιλίας με μία μικρή τάση να είναι μεγαλύτερες στην ψαλμωδία εκτός του φωνήεντος /Ι/.

3) Η τρίτη φωνοσυντονιστική συχνότητα εμφανίζει την τάση να είναι μικρότερη στην ψαλμωδία για τα εμπρόσθια φωνήεντα /ε, ι/ αλλά μεγαλύτερη για τα όπισθια /α, ο, υ/ για όλα τα δεδομένα ομιλίας (σχ. 6.5).

Για να ερευνηθεί η επίδραση των μή ελεγχόμενων συνθηκών ήχογράφησης δημιουργήθηκαν τα δεδομένα του τρίτου συνόλου δεδομένων. Μετρήθηκαν οι φωνοσυντονιστικές συχνότητες για όλα τα φωνήεντα για κάθε ψάλτη από τους τρεις που καταγράφηκαν στις τρεις διαφορετικές συνθήκες, οι οποίες προσομοιάζουν γενικότερα με εκείνες του πρώτου συνόλου.

Πρώτα υπολογίσθηκαν οι μέσες τιμές για κάθε φωνήεν και ψάλτη σε όλες τις συνθήκες καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις τους. Μετά βρέθηκαν οι μέσες τιμές για κάθε φωνήεν για όλους τους ψάλτες καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις τους. Ο πίνακας 6.3 φανερώνει ότι οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε φωνήεν και φωνοσυντονιστική συχνότητα είναι μέχρι πολύ διαφορετικές (μέχρι και 10 φορές, βλέπε πίνακα 6.3 φωνήεν /ε/, F2) μεταξύ των ψαλτών. Με άλλα λόγια όταν ήχογραφείται η φωνή ενός ψάλτη σε τρεις διαφορετικές συνθήκες δεν παρουσιάζει την ίδια διακύμανση στις φωνοσυντονιστικές της συχνότητες με κάποιου άλλου ψάλτη την φωνή, που ήχογραφείται στις ίδιες συνθήκες. Έπομένως η επίδραση των διαφορετικών συνθηκών ήχογράφησης δεν είναι σημαντική.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3

Φωνοσυντονιστικές συχνότητες για όλα τα φωνήεντα για κάθε έναν από τρεις ψάλτες που καταγράφηκαν σε τρεις διαφορετικές συνθήκες, οι οποίες προσομοιάζουν με εκείνες συνολικά του πρώτου συνόλου. Οι τυπικές αποκλίσεις τους για κάθε φωνήεν και φωνοσυντονιστική συχνότητα είναι μέχρι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους αν και οι συνθήκες είναι ίδιες μεταξύ τους.

Φωνήεν- Formant	F1(Hz)	sdF1(Hz)	F2(Hz)	sdF2(Hz)	F3(Hz)	sdF3(Hz)	F4(Hz)	sdF4(Hz)	Τρίτο σύνολο
/α/	487	36	1063	47	2560	233	3151	161	Ψάλτης 1
/ε/	523	16	1436	193	2349	33	3005	141	
/ι/	414	29	1814	176	2256	128	2994	127	
/ο/	563	77	991	208	2547	259	3161	190	
/υ/	410	45	847	194	2723	98	3047	133	
/α/	563	43	1040	14	2656	84	3081	104	Ψάλτης 2
/ε/	511	42	1292	21	2416	31	3015	23	
/ι/	420	17	1666	44	2295	65	3030	59	
/ο/	480	27	862	82	2596	87	3064	51	
/υ/	454	34	868	31	2785	120	3127	90	
/α/	634	81	1015	50	2852	113	3160	47	Ψάλτης 3
/ε/	614	60	1450	99	2651	133	3147	86	
/ι/	484	13	1907	102	2543	131	3119	61	
/ο/	563	26	948	56	2891	36	3133	104	
/υ/	464	20	804	89	2889	71	3153	122	

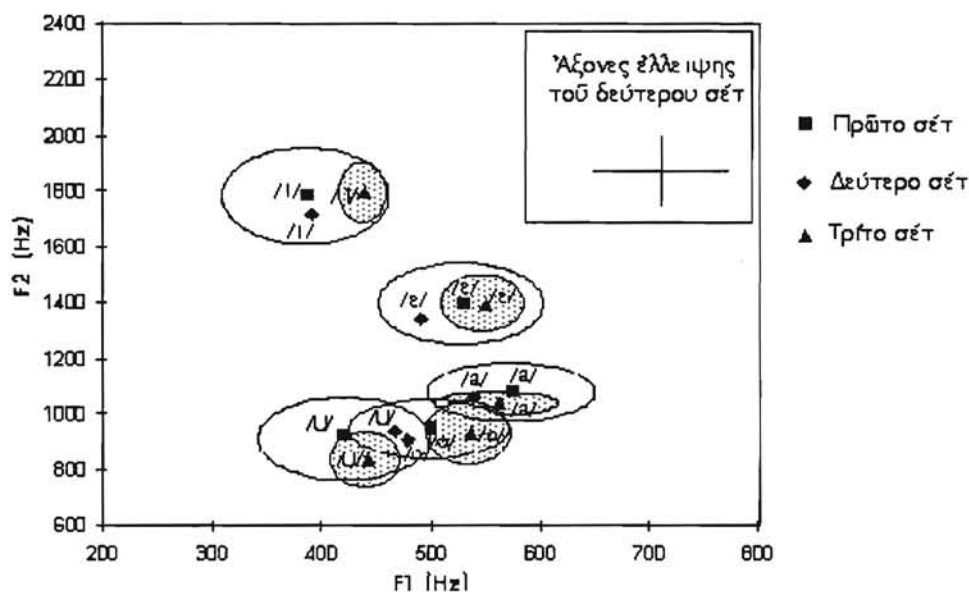
Η μεγάλη διακύμανση στις τιμές των φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων οφείλεται κυρίως στην μη ομοιόμορφη άρθρωτικά ψαλμώδηση από τόν ίδιο ψάλτη και

έπομένως στην μή σταθερότητα των φωνοσυντονισμών του, φαινόμενο τό όποιο θά συζητήσουμε αργότερα.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τά δεδομένα του πρώτου συνόλου δέν επιρρεάζονται σημαντικά από τήν άνομοιογένεια του ύλικού λόγω των διαφορετικών συνθηκών ήχογράφησης τους, πράγμα τό όποιο θά επιβεβαιωθεί ακόμη περισσότερο στή συνέχεια.

Σύγκριση μεταξύ των τριών συνόλων δεδομένων γίνεται στό σχήμα 6.6, στό όποιο φαίνεται ότι γιά κάθε φωνήεν οι μέσες συχνότητες των φωνοσυντονισμών είναι συγκρίσιμες μεταξύ των τριών συνόλων δεδομένων ενώ οι ελλείψεις του σχήματος των τριών συνόλων, πού σχεδιάστηκαν μέ ποσοστό 70% έχουν σημαντική επικάλυψη μεταξύ τους. Οι ελλείψεις γιά τά όπίσθια φωνήεντα /a, o, u/ άλληλοεπικαλύπτονται πράγμα πού σημαίνει μιά όχι τόσο διακριτή άρθρωση μεταξύ αυτών των φωνηέντων γιά τό σύνολο των ψαλτικών φωνών.

6.3.4 Σχέση φωνηέντων ψαλμωδίας και δυτικής Όπερας



Σχήμα 6.6 Μέσες τιμές φωνοσυχνοτήτων και ελλείψεις μέ ποσοστό 70% στό πεδίο F1-F2) γιά τό 1ο και 3ο σύνολο δεδομένων καθώς και οι άξονες ελλείψεως γιά τό 2ο σύνολο δεδομένων γιά σύγκριση. Οι μέσες τιμές είναι συγκρίσιμες μεταξύ των τριών συνόλων και οι τυπικές αποκλίσεις μεταξύ των δύο πρώτων είναι σχεδόν ταυτόσημες ενώ οι αποκλίσεις γιά τό τρίτο σύνολο είναι άξιοσημείωτα μεγάλες παρά τόν μικρό άριθμό ψαλτικών δειγμάτων. Αυτά τά εύρήματα φανερώνουν ότι επικρατεί ή διακύμανση μέσα στό ίδιο ψαλτικό δείγμα έναντι τής διακύμανσης έξ αίτίας των συνθηκών στην συνολική διακύμανση των μέσων τιμών.

Τά δεδομένα του πίνακα 6.4 παριστούν μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες για Σουηδούς όπερατικούς τραγουδιστές: τενόρους, βαρυτόνους, και βαθυφώνους μετρημένες από τον Thomas F. Cleveland(1977).

Συγκρίνοντας τά δεδομένα φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων για τις τρεις κατηγορίες φωνών της όπερας του πίνακα 6.4 με εκείνα της ψαλμωδίας, για τους τρεις πρώτους φωνοσυντονισμούς, προκύπτουν τά εξής:

1) Σέ όλα τά φωνήεντα ή φωνοσυχνότητα του F1 είναι μεγαλύτερη στην ψαλμωδία, εκτός για τό φωνήεν /a/ τών όξυφώνων (τενόρων) καί τό φωνήεν /α/ της ελληνικής όμιλίας. Μέ άρθρωτικούς όρους, όλα τά φωνήεντα της ψαλμωδίας είναι «ύψηλότερα» από τά αντίστοιχα της όμιλίας αλλά «χαμηλότερα» από εκείνα της όπερας.

2) Ή φωνοσυχνότητα του F2 είναι έλαφρά μεγαλύτερη στην ψαλμωδία από την όπερα για τά όπίσθια φωνήεντα ενώ είναι μικρότερη για τό /ε/ καί συγκρίσιμη για τό /ι/. Μέ όρους άρθρωσης τά όπίσθια φωνήεντα στους ψάλτες έμφανίζουν μικρότερη «όπισθιότητα» παρά στους όπερατικούς τραγουδιστές ενώ τό φωνήεν /ε/ είναι περισσότερο όπίσθιο στους ψάλτες.

3) Ό F2 επίσης για τό φωνήεν /ι/ τοποθετείται, για την ψαλμωδία, στό πεδίο F1-F2 μεταξύ του αντίστοιχου τών όξυφώνων καί τών βαρυτόνων αλλά είναι πιο πέρα από εκείνο τών βαθυφώνων (Σχ. 6.7).

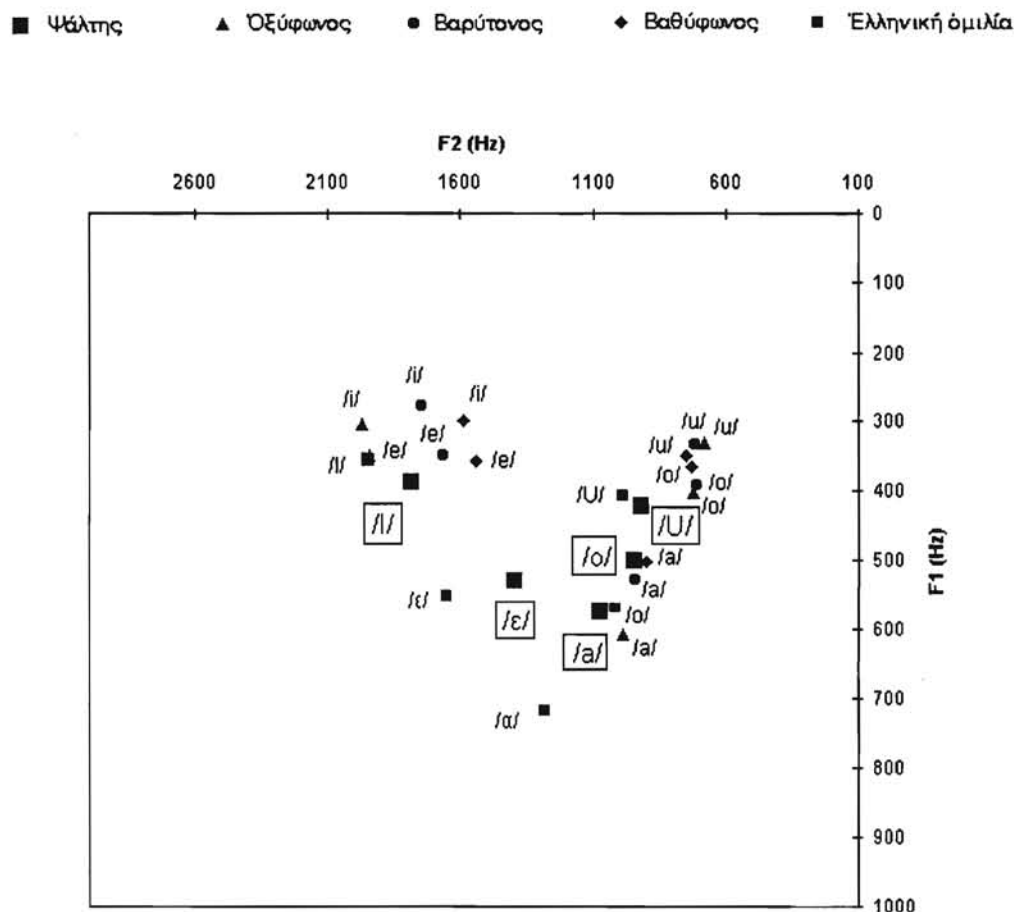
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4

Μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες για Σουηδούς όπερατικούς τραγουδιστές: όξυφώνους (τενόρους), βαρυτόνους, καί βαθυφώνους μετρημένες από τον Thomas F. Cleveland (1977).

Φωνήεν - Formant	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F3 (Hz)	F4 (Hz)		
/a/	609	994	2576	2909	Τενόρος	
/ε/	350	1942	2414	3061		
/ι/	304	1969	2567	3105		
/ο/	401	724	2706	2989		
/υ/	330	682	2548	2957		
/a/	530	944	2400	2849	Βαρύτονος	
/ε/	350	1662	2247	2873		
/ι/	278	1744	2482	2897		
/ο/	391	711	2554	2906		
/υ/	333	719	2420	2716		
/a/	503	900	2386	2527	Βαθύφωνος	
/ε/	356	1539	2041	2754		
/ι/	300	1587	2214	2752		
/ο/	365	729	2605	2969		
/υ/	348	749	2536	2784		

Οι φωνοσυντονιστικές συχνότητες ανάμεσα στην όμιλία καί στο τραγούδι για τους όπερατικούς τραγουδιστές διαφέρουν καί υπάρχει διαφορετική άρθρωση

μεταξύ τους, όπως έχει αναφερθεί. Έτσι, τὰ ανωτέρω εὐρήματα μποροῦν νὰ μᾶς οδηγήσουν σὲ ἀνάλογες διαφορὲς μεταξύ ψαλμωδίας καὶ ἐλληνικῆς ὁμιλίας.



Σχήμα 6.7 Οί δύο πρώτες φωνοσυχρότητες για φάλτες, τενόρους, βαρυτόνους, βαθυφώνους και ελληνικής ομιλίας. Σέ όλα τά φωνήεντα ό φωνοσυντονισμός F1 τοποθετείται υψηλότερα στην ψαλμωδία, έκτός του φωνήεντος /a/ των τενόρων. Ό φωνοσυντονισμός F2 είναι έλαφρά υψηλότερος στην ψαλμωδία για τά όπίσθια φωνήεντα. Ό F2 επίσης για τό φωνήεν // τοποθετείται, για την ψαλμωδία, στό πεδίο F1-F2 μεταξύ του αντίστοιχου των όξυφώνων και των βαρυτόνων αλλά είναι πέραν εκείνου των βαθυφώνων.

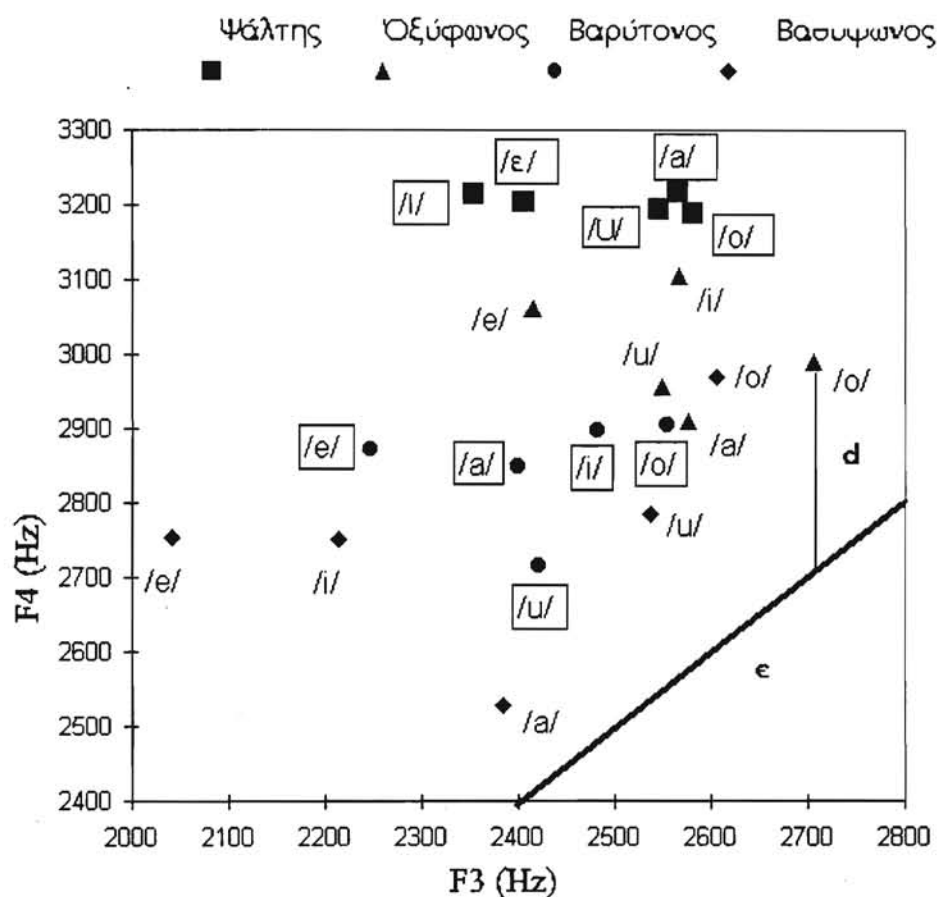
Μία συγκριτική μελέτη μεταξύ ψαλμωδίας και όπερατικού τραγουδιού για τους υψηλούς φωνοσυντονισμούς μπορεί να γίνει με βάση το σχεσιόγραμμα F3-F4 (σχ.

6.8). Τό σχεσιόγραμμα αυτό έχει στους άξονές του ζευγάρια τιμών των φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων των φωνοσυντονισμών F3 και F4.

1) Οι μέσες τιμές συχνοτήτων των F3 και F4 για τα εμπρόσθια φωνήεντα της ψαλμωδίας είναι πολύ κοντινές όπως επίσης και για τα όπισθια φωνήεντα μεταξύ τους.

2) Οι θέσεις των μέσων τιμών για την ψαλμωδία διαφέρουν σημαντικά από εκείνες για την όπερα και μάλιστα οι πρώτες είναι αρκετά υψηλότερες από τις δεύτερες.

3) Η διαφορά μεταξύ των φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων F3 και F4 παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία για τις διάφορες ψαλτικές φωνές για όλα τα φωνήεντα. (Σχ. 6.4α - β).



Ἐδῶ δημιουργεῖται ἓνα ἐρώτημα: Πῶς μπορούμε νά συγκρίνουμε φάσματα μεταξύ φωνῶν πού τραγουδοῦν σέ διαφορετικό τονικό ὕψος; Εἶναι λογικό νά θεωρήσουμε ὅτι ἡ διακύμανση τῶν μέσων φωνοσυντονιστικῶν συχνότητων, γιὰ ἓνα φωνήεν, ἐξ αἰτίας τοῦ διαφορετικοῦ τονικοῦ ὕψους, εἶναι πολύ μικρότερη σέ σχέση μέ τούς υπόλοιπους παράγοντες πού τίς ἐπιρρεάζουν (ὅπως π.χ. ἐνδοστυλικές διαφορές πού ἀναφέραμε καί πιό πάνω γιὰ τούς ψάλτες).

Ἀκόμη, ἐάν οἱ ὑψηλές τονικότητες εἶναι συνηθισμένο φαινόμενο στήν ὄπερα τότε ἀκριβῶς συγκρίνονται οἱ φωνές στήν ὄπερα καί στήν ψαλμωδία μέσα στήν φωνητική ἔκταση πού λειτουργεῖ ἡ κάθε μία γιὰ νά εἶναι ἀντιπροσωπευτική ἡ τονικότητα γιὰ τό συγκεκριμένο εἶδος μελωδίας καί νά διαπιστωθεῖ ἡ διαφορά μεταξύ τοῦ ὀπερατικοῦ τραγουδιοῦ καί τῆς ψαλμωδίας. Ἀλλωστε δέν μπορεῖ κανεῖς νά συγκρίνει δύο φωνές πού ἡ μία λειτουργεῖ βεβιασμένα (ἐπειδή ἡ τονικότητα εἶναι πολύ ὑψηλή ἢ πολύ χαμηλή) ἐνῶ ἡ ἄλλη λειτουργεῖ φυσικά. Οἱ διαφορές στό ἡχόχρωμά τους περιλαμβάνουν καί τήν τονικότητα, πρᾶγμα τό ὁποῖο συνδέεται ἄμεσα μέ τά ἀνατομικά χαρακτηριστικά τῶν τραγουδιστῶν. Ἐξετάζοντας, μόνο τίς σχέσεις μεταξύ τῶν φωνοσυντονισμῶν, περιλαμβάνονται ἐπίσης καί τά ἀνατομικά τους χαρακτηριστικά μέσα σ' αὐτούς ἀφοῦ οἱ θέσεις τῶν φωνοσυχνοτήτων σχετίζονται ἄμεσα ἀπό τήν κατηγορία τῆς φωνῆς (Cleveland, 1977, Dmiriev & Kiselev, 1979). Ἐπομένως ἡ ἐπίδραση τῶν διαφορετικῶν τονικοτήτων δέν χρειάζεται νά ἐξεταστεῖ χωριστά.

6.3.5 Σχόλια στά ἀποτελέσματα

Εἶδαμε στά χαρακτηριστικά τῆς ἄρθρωσης ὅτι ἡ δεύτερη φωνοσυντονιστική συχνότητα κυρίως ἐξαρτᾶται ἀπό τήν θέση τῆς γλώσσας καί ὅτι ἡ κίνησή της πρὸς τόν φάρυγγα δημιουργεῖ μιά στένωση πού ὅσο μεγαλύτερη εἶναι τόσο ἐλαττώνεται αὐτή ἡ συχνότητα.

Ἡ κίνηση, πρὸς τά πίσω, τῆς γλώσσας γίνεται μόνο στά ὀπίσθια φωνήεντα (ὅπως ἔχει ἤδη σημειωθεῖ στό 1ο κεφάλαιο, σχ. 2.18) /a, o, U/ ἐνῶ ἐδῶ ἡ F2 λαμβάνει χαμηλότερες τιμές καί στά ἐμπρόσθια φωνήεντα /ε, I/. Γιὰ τά πρῶτα ἡ στένωση εἶναι μεγαλύτερη στήν ψαλμωδία παρά στήν ὁμιλία ἐνῶ στά δεύτερα πιό πιθανή ἐξήγηση εἶναι ἡ ἐπιμήκυνση τῆς στοματικῆς κοιλότητος κατὰ τρόπο ὥστε νά τείνουν νά ὁμοιάσουν ὅλα τά φωνήεντα μέ τά ὀπίσθια φωνήεντα.

Αὐτή ἡ τάση τῆς ἐπιμήκυνσης τοῦ στόματος ὑπῆρξε στοὺς παλαιούς δασκάλους τῆς ψαλτικῆς καί ὑπάρχει καί σήμερα σέ ἀρκετοὺς ψάλτες προσομοιάζοντες στὸν τρόπο ψαλμώδησης τῶν Θεσσαλονικέων ψαλτῶν.

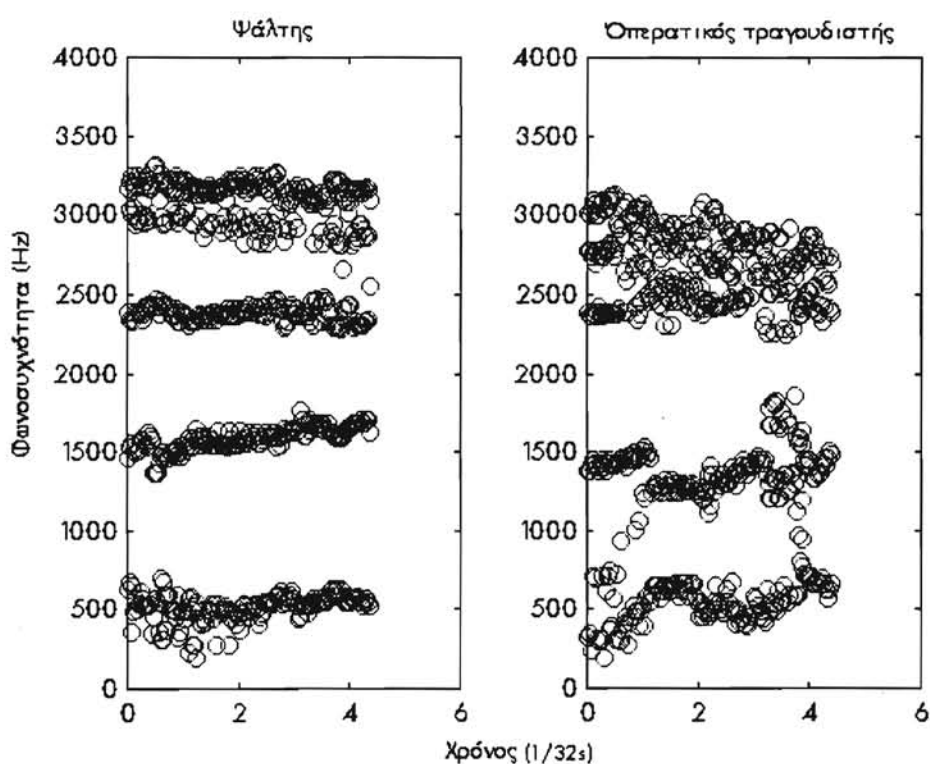
Ἡ κίνηση τοῦ λάρυγγα πρὸς τά κάτω, ἡ ὁποία γίνεται κυρίως μέ τήν δράση τῶν στερνοθυρεοειδῶν μυῶν (Sundberg, 1987), χαμηλώνει ὅλους τούς φωνοσυντονισμούς ὅπως καί ἡ ἐπιμήκυνση τοῦ στόματος καί ἡ πρόταξη (protruding) τῶν χειλιῶν τό κάνει, λόγω τῆς ἐπιμήκυνσης τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ.

Ἡ ἐλαφρά ἀνύψωση τοῦ F1 στήν ψαλμωδία σέ σχέση μέ τήν ὁμιλία, μπορεῖ νά ἐξηγηθεῖ μέ τήν φαρυγγική στένωση. Ἡ ἀνύψωση τοῦ F3 γιὰ τά /o, U/ στήν ψαλμωδία καί ἡ κάθοδος του γιὰ τά /ε, I/ πρέπει νά ὀφείλεται σέ συνδυασμό τῆς καθόδου τοῦ λάρυγγα, τῆς ἐπιμήκυνσης τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ καί τήν θέση τῆς γλώσσας ὡς πρὸς τόν οὐρανίσκο.

Ἡ ἀνύψωση τοῦ F1 στήν ψαλμωδία μπορεῖ νά ἐξηγηθεῖ ἀρθρωτικά μέ μία μεγαλύτερη στένωση τοῦ φάρυγγα ἀπὸ ἐκείνη στήν ὄπερα. Ἡ ἀνύψωση τοῦ F2 γιὰ

τά όπίσθια φωνήεντα στήν ψαλμωδία φανερώνει πιθανώς τήν ύψηλότερη θέση τοῦ λάρυγγα τῶν ψαλτῶν. Ἐπίσης ἡ θέση τοῦ F2 γιά τό φωνήεν /I/ μπορεῖ ἴσως νά ἀποδοθεῖ σέ μιά ἐνδιάμεση ἐμπρόσθια γλωσσική στένωση μεταξύ ὀξυφώνων καί βαρυτόνων.

Μελετῶντας τούς πίνακες 6.1 καί 6.2 τῶν συχνότητων τῶν φωνοσυντονισμῶν γιά τά ψαλτικά καί τά φωνήεντα ὁμιλίας, παρατηροῦμε ὅτι ἐνῶ γιά τά ὀπίσθια ψαλτικά φωνήεντα /a, o, U/ ὁ φωνοσυντονισμός F3 ἀνεβαίνει, γιά τά ἐμπρόσθια /ε, I/ κατεβαίνει, πρᾶγμα τό ὁποῖο σημαίνει ὅτι ὁ σημαντικότερος παράγοντας γιά αὐτόν τόν φωνοσυντονισμό εἶναι ἡ μεταβολή τοῦ σχήματος τῆς γλῶσσας καί ἡ πρὸς τά πίσω ἢ πρὸς τά ἐμπρός στένωση στήν φωνητική ὁδό. Ἀκουστικά ἐρμηνεύεται λόγω τῆς αὐξησης τοῦ μεγέθους τῆς στοματικῆς κοιλότητας μεταξύ κοπτήρων καί γλῶσσας κατά τήν ψαλμώδηση τῶν ὀπίσθιων φωνηέντων, σέ ἀντίθεση μέ τήν ὁμιλία, ἐνῶ, φαίνεται ὅτι τά ψαλτικά /I, ε/ σχηματίζονται πιό μπροστά ἀπό ὅτι τά ἀντίστοιχα τῆς ὁμιλίας. Ὅμως, τά ἀνωτέρω χρειάζονται ἐπὶ πλέον ἐπιβεβαίωση μέ ἀνάλυση καί ἀρθρωτικῶν δεδομένων.



Σχῆμα 6.9 Φωνοσυντονιστικές τροχιές γιά τό ἴδιο φωνήεν καί περίπου τήν ἴδια τονικότητα γιά τενόρο τῆς ὅπερας (δεξιά) καί Ἑλληνα Ὁρθόδοξο ψάλτη (ἀριστερά). Εἶναι ἐμφανής ἡ συνένωση τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν ὥστε νά δημιουργηθεῖ ἐνιαία κορυφή γύρω στά 2800Hz (φωνοσυντονισμός τοῦ τραγουδιστῆ) στόν ὀπερατικό τραγουδιστή. Στόν ψάλτη ἡ συνένωση γίνεται μόνο μεταξύ τῶν F4 καί F5 φωνοσυντονισμῶν μέ συνέπεια μιά καθαρή διαφορά στό φωνητικό ἡχόχρωμα τῶν δύο στυλ τραγουδιοῦ.

Σύμφωνα με τον J. Sundberg το F4 σχετίζεται άμεσα με το ήχόχρωμα και οφείλεται στις διαστάσεις της φωνητικής όδου. Άρα λόγω της μεγάλης ποικιλίας φωνητικών οργάνων των ψαλτών πρέπει να υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στην θέση του F4. Η θέση του F3 εξαρτάται μερικώς από τα φωνήεντα. Έτσι η απόσταση μεταξύ F3 και F4 εξαρτάται από τα φωνήεντα.

Οι F3, F4 και F5 φωνοσυντονισμοί «συσπειρώνονται» με την κάθοδο του λάρυγγα των οπερατικών τραγουδιστών και την ταυτόχρονη διεύρυνση του φάρυγγα σε περίπου 6 φορές το μέγεθος του λάρυγγα. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός του φωνοσυντονισμού του τραγουδιστή (singer's formant), το οποίο δημιουργεί μία προεξέχουσα κορυφή στο φάσμα γύρω στα 2800Hz περίπου και διαμορφώνει το ήχόχρωμα της φωνής σε πιο τραχύ. Στην ψαλμωδία αυτό δεν συμβαίνει παρόλο που οι υψηλοί φωνοσυντονισμοί πλησιάζουν μεταξύ τους σε ώρισμένες φωνές διότι η απόστασή τους εξακολουθεί να παραμένει πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των οπερατικών φωνών (σχ. 6.9).

Επειδή η δυνατότητα μεταφοράς ήχου της φωνητικής όδου αυξάνεται κοντά και ανάμεσα σε δύο φωνοσυντονισμούς όταν η απόστασή τους μικρύνει, προκύπτει ότι για την ψαλμωδία λόγω της μεγάλης σχετικής απόστασης μεταξύ των F3 και F4 η φωνή βρίσκεται πέρα από το κρίσιμο όριο το οποίο καθορίζει την ανύψωση μίας νέας κορυφής στο φάσμα. Έτσι το ψαλτικό φωνητικό όργανο παρουσιάζει διαφορετική αρθρωτική σχηματοποίηση από το αντίστοιχο οπερατικό. Παράλληλα, όταν εμφανίζονται περιπτώσεις ψαλτικών φωνών με τους F3 και F4 κοντινούς σε απόσταση, δεν συνδυάζονται με ένα τρίτο επίσης κοντινό φωνοσυντονισμό για να συνενωθούν (βλ. σχ. 6.9).

Στο σχήμα 6.9 φαίνεται η ουσιαστική διαφορά μεταξύ μίας ψαλτικής φωνής και μίας οπερατικής φωνής ως προς τους υψηλούς φωνοσυντονισμούς. Η διαφορά αυτή είναι ένδεικτική του διαφορετικού τρόπου χρήσης της φωνής ανάμεσα στην δυτική όπερα και την ελληνική ψαλτική ανατολική παράδοση, επειδή κατά την σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν ίδιες τονικότητες και οι δύο τραγουδιστές ήταν του ίδιου σωματικού τύπου. Γι' αυτόν τον λόγο το ψαλτικό ήχόχρωμα είναι διαφορετικό από το οπερατικό ενώ στα φάσματα ΜΦΜΔ εμφανίζονται δύο ξεχωριστές και μάλλον στενές κορυφές για την ψαλμωδία έναντι μίας ογκώδους κορυφής για την όπερα. Η κάθοδος του λάρυγγα συμβαίνει πιθανότατα στην ψαλτική αρθρωση αλλά όχι με τέτοια φαρυγγική διεύρυνση.

6.3.6 Η ισχύς των υψηλών φωνοσυντονισμών

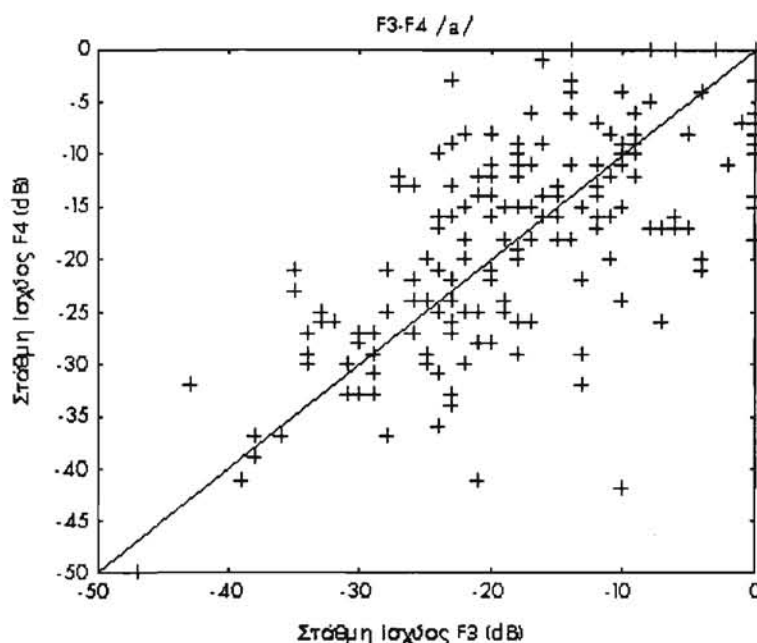
Παριστάνοντας τα ζεύγη τιμών των σταθμών ισχύος των φωνοσυντονισμών F3 και F4, σε ένα σχεσιόγραμμα προκύπτει το ακόλουθο σχήμα 6.10, το οποίο αναφέρεται στο φωνήεν /a/. Ανάλογα με την τοποθέτηση κάθε σημείου, το οποίο παριστάνει ένα ζευγάρι ισχύων F3 και F4 ενός συγκεκριμένου ψαλτικού ήχοακούσματος, συμπεραίνουμε για την σχετική ισχύ μεταξύ των φωνοσυντονισμών τα οποία το συναποτελούν.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι τα σημεία τοποθετούνται κυρίως πάνω στην διαγώνιο του σχεσιογράμματος, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι κατά μέσον όρο οι στάθμες ισχύος μεταξύ αυτών των φωνοσυντονισμών είναι περίπου ίσες.

Για τα σημεία, που απομακρύνονται από την διαγώνιο, είναι σαφές ότι τα πάνω απ' αυτήν έχουν ισχυρότερο F4 απ' ότι F3, ενώ τα κάτω απ' αυτήν έχουν

ύψηλότερης στάθμης τόν F3 έναντι του F4, ρυθμίζοντας ανάλογα και τό φωνητικό ήχόχρωμα. Ο μέσος όρος για την στάθμη ισχύος των F3 και F4 είναι -20dB και με τυπική απόκλιση γύρω στα ± 10 dB.

Μιά χρήσιμη παρατήρηση στο σχήμα 6.10, η οποία θα μπορούσε να γίνει, είναι ότι δεν είναι ταυτόσημη ή επίδραση στο ήχόχρωμα της μεταβολής της ισχύος του F3 με την αντίστοιχη του F4. Όταν ο F3 φωνοσυντονισμός είναι ισχυρότερος του F4, τό συνολικό ήχόχρωμα αποκτά μία «μπάσα» απόχρωση ενώ όταν τό F4 υπερισχύει του F3, τό ψαλτικό άκουσμα γίνεται πιο «έλαφρύ» και ταυτόχρονα «μεταλλικό» με έναν ήχο «κουδουνιοῦ».



Σχήμα 6.10 Σχεσιόγραμμα παράστασης των σχετικών σταθμών Ισχύος των ύψηλών φωνοσυντονισμών για όλα τά σύνολα δεδομένων. Κατά μέσον όρο οί στάθμες Ισχύος μεταξύ των δύο φωνοσυντονισμών F3 και F4 είναι περίπου ίσες αν και διακρίνονται περιοχές σημείων με Ισχυρότερο τόν F3 από τόν F4 και αντίστροφα. Γι' αυτά τά σημεία τά αντίστοιχα ψαλτικά ήχοακούσματα έχουν και ανάλογη ποιότητα ήχοχρώματος.

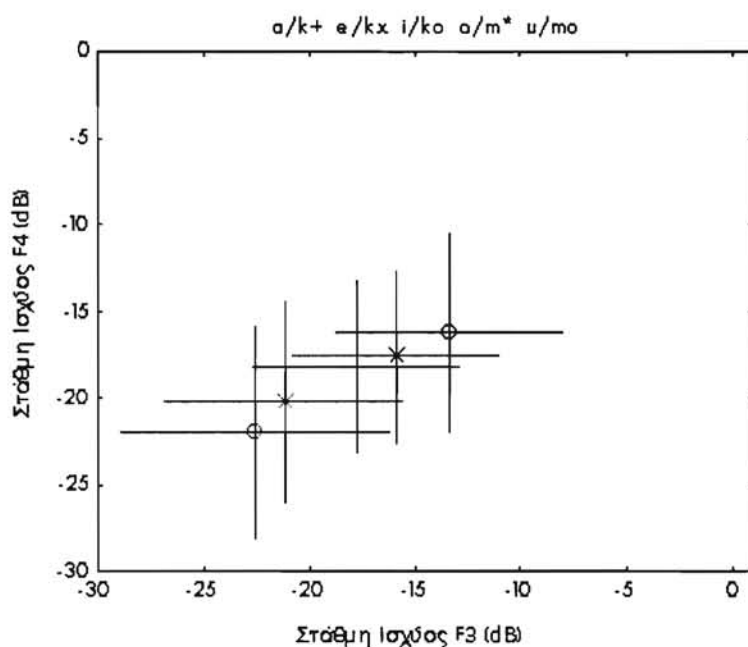
Σημειώνουμε επίσης, σέ μερικά ψαλτικά άκούσματα, την πολύ χαμηλή στάθμη του F4 πράγμα τό όποίο μεταθέτει την φωνητική ποιότητα προς την «μπάσα» απόχρωση.

Όταν και οί δύο F3 και F4 φωνοσυντονισμοί, είναι χαμηλής ενέργειας ως προς τούς χαμηλής τάξης F1 και F2, τότε τό συγκεκριμένο ψαλτικό άκουσμα έχει τό ήχόχρωμα της συνηθισμένης όμιλίας, με την προϋπόθεση βέβαια ότι τό ήχογραφημένο ψαλτικό δείγμα είναι αρκετά καθαρό.

Όπως αναφέραμε παραπάνω τό F3 εξαρτάται από τό συγκεκριμένο φωνήεν πού έκφωνεΐται καί τό χαρακτηριστικό πού αλλάζει εΐναι ή διαφορά μεταξύ τών συχνοτήτων τών F3 καί F4.

Τώρα θά δοϋμε πώς ή ισχύς τους μεταβάλλεται σέ συνάρτηση μέ τό μέσο ψαλτικό φωνήεν. Πράγματι στό παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 6.11) παριστάνονται οί μέσες τιμές στάθμης ισχύος τών F3 καί F4 ανά φωνήεν όλων τών ψαλτικών ήχο-ακουσμάτων καθώς καί οί τυπικές τους αποκλίσεις. Οί μέσες τιμές ανά φωνήεν από τά /α, ε, ι, ο, υ/ παριστάνονται αντίστοιχα μέ ("+", "x", μαϋρο "ο", "*", γκρι "ο").

Παρατηρούμε ότι γιά τό φωνήεν /ι/ τά F3 καί F4 εΐναι μέγιστης ισχύος, περίπου -13dB καί -17dB αντίστοιχα, ένω γιά τό φωνήεν /υ/ ελάχιστης ισχύος, περίπου -23dB καί -22dB αντίστοιχα.

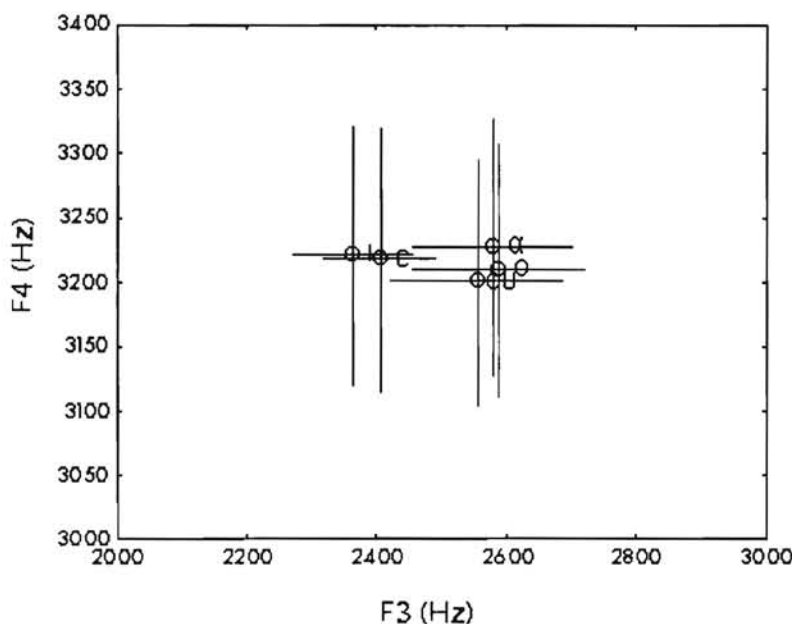


Σχήμα 6.11 Μέσες σχετικές στάθμες ισχύος γιά όλα τά σύνολα δεδομένων ανά φωνήεν. Παριστάνονται τά φωνήεντα / α, ε, ι, ο, υ / αντίστοιχα μέ, μαϋρο +, μαϋρο x, μαϋρο ο, κόκκινο *, καί κόκκινο ο, αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι, παρά τήν επικάλυψη μεταξύ τών αποκλίσεων τους, ή τάση εΐναι νά μειώνεται ή ισχύς τών F3 καί F4 καθώς διατρέχουμε τήν σειρά τών φωνηέντων / ι, ε, α, ο, υ /, δηλαδή τό όξύτερο φωνήεν νά εΐναι τό /ι/ καί τό άσθενέστερο τό /υ/.

Άκόμα μπορούμε νά όμαδοποιήσουμε ως πρός τήν ισχύ τους τά φωνήεντα στά όπίσθια καί στά έμπρόσθια, όπου τά όπίσθια εΐναι άσθενέστερα τών έμπρόσθιων όσον άφορā τά F3 - F4. Έτσι συμπεραΐνουμε ότι άκούγονται όξύτερα έφ' όσον περιέχουν ένισχυμένες ύψηλές άρμονικές, καί ότι τά έμπρόσθια φωνήεντα εΐναι πιό «πρίμα» από τά όπίσθια.

Η ελάχιστη σχετική ισχύς του F4, -40dB με μία μέση τιμή συχνότητας 3200Hz, φανερώνει μία ελάχιστη κλίση φάσματος, περίπου -3dB ανά οκτάβα, τιμή, η οποία είναι μεγαλύτερη από εκείνη του φάσματος της πηγαίας φωνής (λόγω της επίδρασης των φωνοσυντονισμών) αλλά πάντως μικρότερη (κατ' απόλυτη τιμή) εκείνης της συνηθισμένης όμιλίας -12dB ανά οκτάβα και υποδηλώνει ένα είδος φώνησης που πλησιάζει προς την φώνηση ροής ή την πεπιεσμένη φώνηση.

Στό επόμενο σχεσιόγραμμα (σχ. 6.12) μεταξύ των φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων F3 και F4 παρατηρούμε ότι τα όπισθια φωνήεντα έχουν μεγαλύτερη μέση τιμή της συχνότητας F3 από τα εμπρόσθια φωνήεντα, με την μέση τιμή της F4 περίπου σταθερή. Αυτό σημαίνει ότι η απόσταση μεταξύ των F3 και F4 μικραίνει με την μετακίνηση της γλώσσας από εμπρός προς τα πίσω διαρθρώνοντας τα αντίστοιχα φωνήεντα, για τους πιο πολλούς ψάλτες. Αυτή, όμως, η παρατήρηση δεν ισχύει για όλες τις ψαλτικές φωνές και δεν γνωρίζω τον λόγο που συμβαίνει αυτό. Το ψαλτικό ήχοχρωμα, το οποίο κατά κύριο λόγο εξαρτάται από τους φωνοσυντονισμούς, επομένως συναρτάται με τα φωνήεντα.



Σχήμα 6.12 Μέση τιμή ανώτερης φωνοσυντονιστικής συχνότητας και τυπική της απόκλιση για κάθε φωνήεν για το σύνολο των ψαλτικών δειγμάτων. Παρατηρείται ένας διαχωρισμός, αν και όχι τόσο σαφής λόγω των μεγάλων αποκλίσεων, μεταξύ των εμπρόσθιων /I, ε/, και των όπισθιων /α, ο, υ/ φωνηέντων. Αυτό σημαίνει ότι στα περισσότερα ψαλτικά ήχοακούσματα τα όπισθια φωνήεντα τείνουν να μοιάζουν μεταξύ τους.

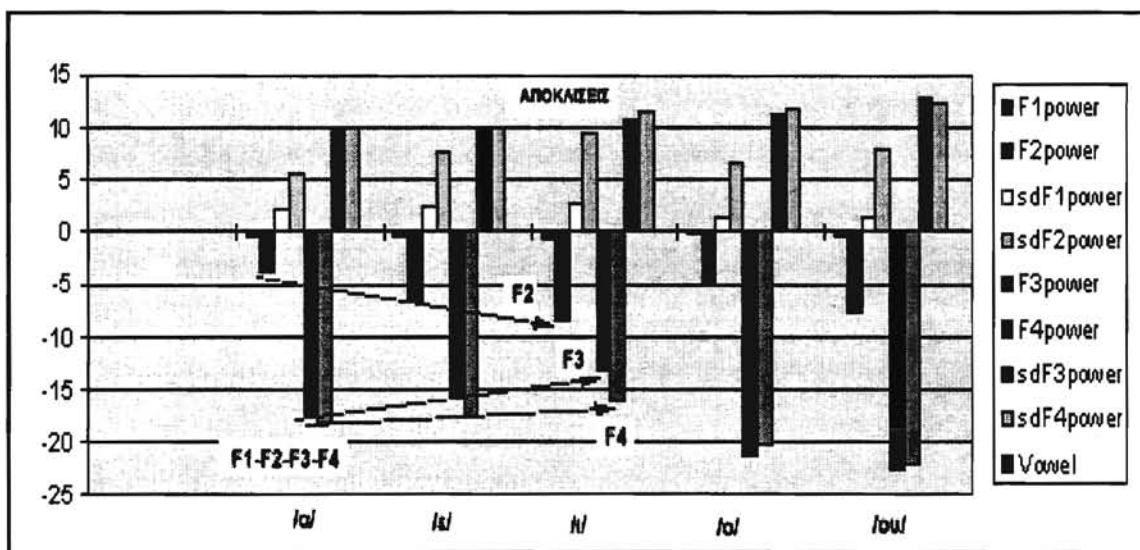
Ἡ κίνηση τοῦ F3 γενικά ὀφείλεται, ὅπως ἤδη ἀναφέρθηκε, στήν κάθοδο τοῦ λάρυγγα, στήν στρογγυλοποίηση τῶν χειλιῶν, καί στήν μεταβολή τοῦ μεγέθους τῆς στοματικῆς κοιλότητος πίσω ἀπό τοὺς κοπτήρες. Γιά μεταβολές μεταξύ φωνήεντων, οἱ δύο πρῶτοι παράγοντες παραμένουν περίπου σταθεροί ἔτσι ὥστε νά δημιουργεῖται ἓνα σταθερό τίμπρο φωνῆς συνολικά. Ἐτσι μένει ἡ ἐπίδραση τοῦ τρίτου παράγοντα ὁ ὁποῖος ἐξαρτᾶται ἄμεσα ἀπό τὰ φωνήεντα. Αὐτή ἡ παρατήρηση δείχνει τήν ἀναγκαία σχεδόν μεταβολή τοῦ ἡχοχρώματος, ἐξ αἰτίας τῆς ἀλλαγῆς ἐνός φωνήεντος, πού ὀφείλεται στά F3 καί F4.

Παρακάτω παραθέτουμε τόν πίνακα 6.5 τῶν τιμῶν ἐπιπέδων ἰσχύος γιά ὅλους τοὺς φωνοσυντονισμούς κατὰ μέσο ὁρο ὅλων τῶν ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5

Πίνακας τῶν μέσων σχετικῶν σταθμῶν ἰσχύος ἀνά φωνῆεν καί τῶν τυπικῶν τους ἀποκλίσεων, γιά ὅλα τὰ σύνολα δεδομένων.

F1power	F2power	sdF1power	sdF2power	F3power	F4power	sdF3power	sdF4power	Vowel
-0,47	-3,70	2,16	5,46	-17,75	-18,20	9,85	9,93	/a/
-0,59	-6,66	2,38	7,59	-15,86	-17,62	9,82	9,90	/e/
-0,70	-8,57	2,67	9,50	-13,38	-16,21	10,80	11,50	/i/
-0,24	-5,07	1,27	6,61	-21,14	-20,15	11,36	11,69	/o/
-0,36	-7,73	1,53	7,87	-22,52	-21,92	12,84	12,31	/u/



Σχῆμα 6.13 Παράσταση τῶν σχετικῶν σταθμῶν ἰσχύος τοῦ πίνακα 6.5 (ἀρνητικές τιμές) καί τῶν ἀντιστοίχων ἀποκλίσεών τους (θετικές τιμές). Τυπικά καθὼς μεταβαίνουμε ἀπὸ τό /a/ στό /ε/ καί /i/ τό F2 ἐξασθενεῖ ἐνῶ τό F3 ἰσχυροποιεῖται καί αὐτό εἶναι μιά αἰτία πού τό φωνῆεν /i/ ἀκούγεται «ὀξύτερο» ἀπὸ τὰ ἄλλα φωνήεντα. Γιά τὰ φωνήεντα /o, u/ φαίνεται νά εἶναι ἐλαφρά ἰσχυρότερο τό F4 ἀπὸ τό F3.

Παριστάνοντας γραφικά τόν πίνακα 6.5, προκύπτει τό άνωτέρω διάγραμμα (σχήμα 6.13), στό όποιο παρατηρούμε ότι οι μέσες τιμές τών σταθμών ισχύος μεταξύ τών ύψηλών φωνοσυντονισμών F3 και F4 είναι περίπου ίσες γιά τά όπίσθια φωνήεντα, ένώ γιά τό φωνήεν /I/ τό F3 είναι ισχυρότερο (-13.38dB) έναντι του F4 (-16.21dB). Γιά τό φωνήεν /ε/ είναι τό F3 έλαφρώς ισχυρότερο του F4.

Τά άνωτέρω όδηγούν στό συμπέρασμα ότι τό φωνήεν /I/ πρέπει νά άκούγεται όξύτερα από τά άλλα φωνήεντα λόγω ισχυρότερων τών άνωτέρων άρμονικών που είναι κοντά στους φωνοσυντονισμούς F3 και F4. Αυτό τό φαινόμενο μπορεί νά έξηγηθεϊ, όσον άφορᾷ τό φωνήεν /I/, από τό ότι όταν ό φωνοσυντονισμός F2 πλησιάζει, σέ μερικές περιπτώσεις, τόν φωνοσυντονισμό F3, πράγμα τό όποιο συμβαίνει στό φωνήεν /I/, έχουμε σαν άποτέλεσμα ή συνάρτηση μεταφορᾷ τής φωνητικής όδοϋ νά αύξάνει επάνω αλλά και μεταξύ τών δύο αύτῶν φωνοσυντονισμών (Sundberg, 1987).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΑΛΤΙΚΩΝ ΦΩΝΩΝ

7.1 Παρατηρήσεις για σταθερές και άσταθεϊς φωνές

Πρίν αναφερθούν οι παρατηρήσεις για σταθερές ή μή φωνές πρέπει να εξηγηθεῖ, τό πῶς ἀπό τήν ἀνάλυση ψαλτικῶν ἀκουσμάτων ὀδηγούμαστε σέ συμπεράσματα γιά ψαλτικές φωνές ἐφόσον παρεμβαίνουν οἱ συνθῆκες ἠχογράφησης. Ἡ ἀπάντηση βασίζεται σέ ὅσα ἔχουν ἤδη ἀναφερθεῖ. Ἐπειδή μελετήθηκαν μόνο οἱ ἐπιδράσεις τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ καί, στατιστικά, τό σφάλμα ἐκτίμησης τῶν φωνοσυντονισμῶν λόγω τῶν συνθηκῶν ἠχογράφησης εἶναι μικρότερο τοῦ σφάλματος λόγω τῆς «ἀστάθειας» τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνότητων ἐξαιτίας τοῦ ἀσταθοῦς τρόπου μέ τόν ὁποῖο οἱ ψάλτες «ἀρθρώνουν» τά φωνήεντα τῆς ψαλμωδίας. Αὐτό φαίνεται ἂν προσέξει κανεῖς τά δεδομένα τοῦ πίνακα 6.3 γιά τόν δεύτερο φωνοσυντονισμό καί στούς τρεῖς ψάλτες. Ὁ δεύτερος ψάλτης παρουσιάζει τήν μικρότερη διακύμανση κατά μέσο ὄρο στά φωνήεντα ἐνῶ ὁ πρῶτος ψάλτης ἐμφανίζει τήν μεγαλύτερη μεταξύ τῶν τριῶν ψαλτῶν.

Βάσει τῶν ὧν ἔχουν ἀναφερθεῖ γιά τόν ρόλο τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν στό τραγουδιστικό ἠχόχρωμα στά προηγούμενα κεφάλαια, μποροῦν νά διακριθοῦν δύο γενικές ὁμάδες ψαλτικῶν ἀκουσμάτων:

α) Τά σταθεροῦ τρόπου φωνῆς, στά ὁποῖα τό ἠχόχρωμα καί ἐπομένως ἡ φωνή παραμένει σταθεροῦ ἀρμονικοῦ μείγματος, ὅπου γιά κάθε φωνῆεν οἱ διακυμάνσεις τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνότητων παραμένουν μικρές, καί,

β) τά ἀσταθοῦς τρόπου φωνῆς, ὅπου ἡ φωνή δέν ἔχει πάντα τό ἴδιο ἀρμονικό μείγμα, μή ἔχοντας ὅμως σταθερές τίς προηγούμενες διακυμάνσεις, γιά κάθε φωνῆεν.

Ἐάν ἡ ἀστάθεια ἀφορᾷ τοὺς πρῶτους δύο φωνοσυντονισμούς τότε ἀπλῶς δέν ὑπάρχει σταθερότητα στήν προφορά ἐνός φωνήεντος ἐνῶ ἂν, γιά τοὺς ὑψηλοῦς φωνοσυντονισμούς, οἱ συχνότητές τους δέν μεταβάλλονται μέσα σέ μιά μικρή περιοχὴ συχνότητων, δέν ὑπάρχει ὁμοιογενές ψαλτικό ἠχόχρωμα.

Ἔτσι μιά φωνή ἀσταθοῦς τρόπου παράγει μὴ ὁμοιογενές ἄκουσμα στόν ἴδιο χῶρο ἀκρόασης, γιά τό ἴδιο φωνῆεν, ἐνῶ μιά σταθεροῦ τρόπου φωνή δημιουργεῖ ἐνιαῖο ἄκουσμα. Ἀξίζει νά μελετηθεῖ ἀντιληπτικά τό θέμα μέ ψυχοακουστικό πείραμα καί νά προσδιορισθοῦν τά ὅρια τῆς διακύμανσης μέσα στά ὁποῖα γίνεται ἡ φωνή ἀντιληπτὴ σάν σταθερή.

Σημειωτέον ὅτι οἱ περισσότερες ψαλτικές φωνές εἶναι σταθεροῦ τρόπου φωνῆς πρᾶγμα πού ἀποτελεῖ χαρακτηριστικό γνώρισμα τῆς καλῆς ψαλτικῆς φωνῆς καί μπορεῖ νά εξηγηθεῖ σάν ἀπαίτηση τῆς λειτουργικότητάς της σάν ἐργαλεῖο καί μέσο καλλιτεχνίας. Ἀλλά ἐπίσης καί στό εὐρωπαϊκὸ λυρικό τραγούδι κάτι ἀνάλογο παρατηρεῖται καί ἐξηγεῖται σάν ἀπαίτηση γιά καλλιτεχνικὴ ἱκανότητα καί ὁμορφιά.

Ἀκόμη, γιά τίς σταθεροῦ τρόπου φωνές, κατά τήν ἐναλλαγὴ τῶν φωνηέντων ἡ ζώνη τῶν ὑψηλῶν ἀρμονικῶν παραμένει σχετικὰ σταθερή, ὅπως προκύπτει ἂν μελετήσει κανεῖς προσεκτικά τά σχήματα 6.4α - β, ἐνῶ οἱ ζῶνες τῶν χαμηλῶν μετατοπίζονται σχετικὰ μεταξύ τους, ὅπως εἶναι ἀναμενόμενο.

7.2 Μιά πρώτη ταξινόμηση

Πρέπει νά αναφέρουμε αρχικά, τήν βασική ιδέα γιά τήν ταξινόμηση: Ό, τι γίνεται αντιληπτό σάν διαφορετικό άκουσμα δέν μπορεῖ παρά νά εἶναι διαφορετικό κι όταν μετρηθῇ. Τό αντίστροφο δέν ισχύει καί εὐκολά μπορεῖ νά αποδειχθῇ, ἐφ' ὅσον τά ἐπιστημονικά ὄργανα ἔχουν μεγαλύτερη ἀκρίβεια ἀπό τά ἀνθρώπινα αἰσθητήρια ὄργανα.

Ἡ ταξινόμηση τῶν ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων, τά ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν στά ψαλτικά δείγματα θά μπορούσε νά βασισθεῖ ἀφενός σέ ψυχοακουστικά πειράματα ἀφετέρου σέ ἀκουστικές μετρήσεις. Ἐφόσον τό ζητούμενο στήν ἔρευνα αὐτή ἦταν ἡ σχέση ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων καί φασμάτων μέ σκοπό τήν ταξινόμηση τῶν ἡχοακουσμάτων, ἐπειδὴ δέν ὁργανώθηκαν ψυχοακουστικά πειράματα (Θά ξεπερνοῦσε τά ὅρια μιᾶς μόνο διατριβῆς), ἐγιναν κάποιοι ψυχοακουστικοί ἔλεγχοι μέ μόνο ὑποκείμενο τόν συγγραφέα. Αὐτό σημαίνει ὅτι παράλληλα μέ τήν σχηματική σύγκριση μεταξύ τῶν φασμάτων, ἕνας ἀπλός ψυχοακουστικός ἔλεγχος ἀναπλήρωνε ὑποτυπωδῶς τό ψυχοακουστικό πείραμα.

Ἡ σκέψη πού ἐγινε ἐδῶ ἦταν τό ὅτι ἡ συμβολή κάποιας φασματικῆς περιοχῆς συχνότητων στό τελικό ἡχόχρωμα θά μπορούσε νά ἐλεγχθεῖ μέ τήν ἀποκοπή ἢ τόν περιορισμό της στό φᾶσμα καί ἐξέταση τῆς μεταβολῆς στό ἡχόχρωμα. Πράγματι, ἐλαττώνοντας τήν ισχύ τῶν ὑψηλῶν ἀρμονικῶν, ἐν σχέσει πρὸς τήν τῶν χαμηλῶν, μειωνόταν σημαντικά ἡ αἴσθηση τῆς «ψαλτικότητος» τῆς φωνῆς, πού ὀφείλεται στό «μεταλλικό» της ἤχο, σέ μερικές δέ περιπτώσεις, ἀλλοίωνε πάρα πολύ καί τό ἴδιο τό ἀτομικό ἡχόχρωμα.

Διαβαθμίζοντας (scaling) τό φᾶσμα ὡς πρὸς τήν συχνότητα, δηλαδή μετατοπίζοντας τούς φωνοσυντονισμούς πρὸς τίς ὑψηλές ἢ τίς χαμηλές συχνότητες, παρατηρήσαμε ἀλλαγὴ τῆς ποιότητος τῆς φωνῆς πρὸς τήν ἔρρινη καί λεπτή φωνή, γιά συντελεστή μεγαλύτερο τῆς μονάδος (πρὸς τίς ὑψηλές), ἢ πρὸς τήν στρογγυλή φωνή, γιά συντελεστή μικρότερο ἀπὸ τήν μονάδα (πρὸς τίς χαμηλές).

Μέ χρήση φίλτρων ζώνης διαιρέθηκε τό φᾶσμα σέ ζῶνες πλάτους 100Hz, τίς ὁποῖες ἀνασυνθέταμε μέ διάφορες σχέσεις ισχύος μεταξύ τους. Ἔτσι φάνηκε ὅτι δημιουργώντας μιὰ γραμμική βαθμίδα ἐλαττούμενης ισχύος (σέ dB) στήν περιοχή 0 - 1200Hz καί μειώνοντας λίγο τήν ισχύ τῶν μεσαίων, ἀλλά μέ τήν ισχύ τῶν ὑψηλῶν ἀμετάβλητη, τό ἄκουσμα γινόταν πιό ἥπιο γιά φωνές μᾶλλον τραχεῖς (δηλαδή γιά ἀκούσματα πού τό φᾶσμα τους ἔχει πολύ μικρὴ κλίση, ἔχοντας καί τίς μεσαῖες τους ἀρμονικές ἐνισχυμένες).

Ἐπὶ πλέον, ἡ ἐνίσχυση τῶν φωνοσυντονισμῶν F3 καί F4 στό συνολικό φᾶσμα πρόσθετε ἕνα χαρακτηριστικό μεταλλικό χρῶμα στό τίμπρο τοῦ ψαλτικοῦ ἀκούσματος. Ἡ βελτίωση τῆς φασματικῆς κλίσης σέ φάσματα ψαλτικῶν ἀκουσμάτων προερχομένων ἀπὸ ἡλικιωμένα άτομα, συνεπαγόταν μιὰ νεανικότερη φωνή.

Τέλος, κανόνα ἀπετέλεσε τό «στρογγύλεμα» καί ἡ πρὸς τό βαρύτερο ποιοῦτητα τοῦ φωνητικοῦ ἀκούσματος μέ ἀποκοπή τοῦ συχνोटικοῦ περιεχομένου πέρα ἀπὸ τά 3000Hz περίπου.

Συνοψίζουμε, λοιπόν, μέ τρεῖς σημαντικές παρατηρήσεις :

1) Μέ φιλτράρισμα τοῦ σήματος ἢ ἀποκοπή τῆς περιοχῆς τοῦ φάσματος πέραν τῶν 3000Hz ἐπέφερε σημαντικὴ ἀλλαγὴ τοῦ ἡχοχρώματος πρὸς τό βαρύτερο. Ἀκόμη τό ὅριο αὐτό πρέπει νά εἶναι καθοριστικῆς σημασίας ἀφοῦ φωνητικοί ἤχοι

μέ εὔρος φάσματος μικρότερο τῶν 3000Hz ἔχουν σημαντικά διαφορετικό ἡχόχρωμα ἀπὸ ὅποιοιδήποτε ἄλλο φωνητικό ἦχο. (Αὐτό μπορεῖ κάποιος νά τό ἐξηγήσει ἂν κοιτάξει προσεκτικά στό σχῆμα 3.1 τό ὄριο μέγιστης εὐαισθησίας τῆς ἀκοῆς, πού τίθεται στά 3000-4000Hz περίπου).

2) Ἐπίσης ἀξιοσημείωτη παρατήρηση ἀποτελεῖ τό γεγονός ὅτι ὅσο ἀπομακρύνονται μεταξύ τους οἱ δύο φωνοσυντονισμοί F3 καί F4, καί μάλιστα μέ ταυτόχρονη μετατόπιση πρὸς τίς ὑψηλές ἀρμονικές, τόσο «ἐλαφρότερος» ἀκούγεται ὁ ἦχος. Ἀντίθετα, ὅσο πλησιάζουν μεταξύ τους, καί μάλιστα μέ μετατόπιση πρὸς τίς χαμηλές συχνότητες, τόσο «βαρύτερο» καί «τραχύτερο» ἀκούγεται τό ἡχόχρωμα. Ἐδῶ μποροῦμε νά φαντασθοῦμε τό φᾶσμα σάν μιά φουσαρμόνικα πού ὅσο συσπειρώνεται «βαραίνει» ὁ ἦχος, καί ὅσο ἐκτείνεται, αὐτός «ἐλαφρύνεται».

3) Ἡ κλίση τοῦ φάσματος διαμορφώνει μιά ἡχοχρωματική ποιότητα πού ἀλλάζει ὅταν, ἐπίσης, ἀλλάζει αὐτή ἡ κλίση. Αὐτό προκύπτει καί ἀπὸ παλαιότερη ἐρευνα, ὅπως εἶδαμε πρὶν, ὅπου ἡ κλίση τοῦ φάσματος τῆς φωνῆς ἐπιρρεάζεται ἀπὸ τὴν κλίση τοῦ φάσματος τῆς πηγαίας φωνῆς.

Τό ἐρώτημα πού γεννιέται τώρα εἶναι μέ ποιές ἀκουστικές παραμέτρους μποροῦμε νά μετρήσουμε αὐτὴ τὴν ἡχοχρωματική ποιότητα. Μιά συγκεκριμένη καί σαφὴς ἀπάντηση θά ἀπαιτοῦσε ἐπὶ πλέον ἐρευνα μέ ψυχοακουστικά πειράματα.

Ὅμως οἱ ἀνωτέρω παρατηρήσεις μποροῦν νά μᾶς ὁδηγήσουν σέ συγκεκριμένες ὑποθέσεις:

1) Ἐφ' ὅσον ἡ διαφορὰ μεταξύ τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων f_4-f_3 διαφοροποιεῖ τό προσλαμβανόμενο ἄκουσμα μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ σάν πρώτη ἀκουστικὴ παράμετρος.

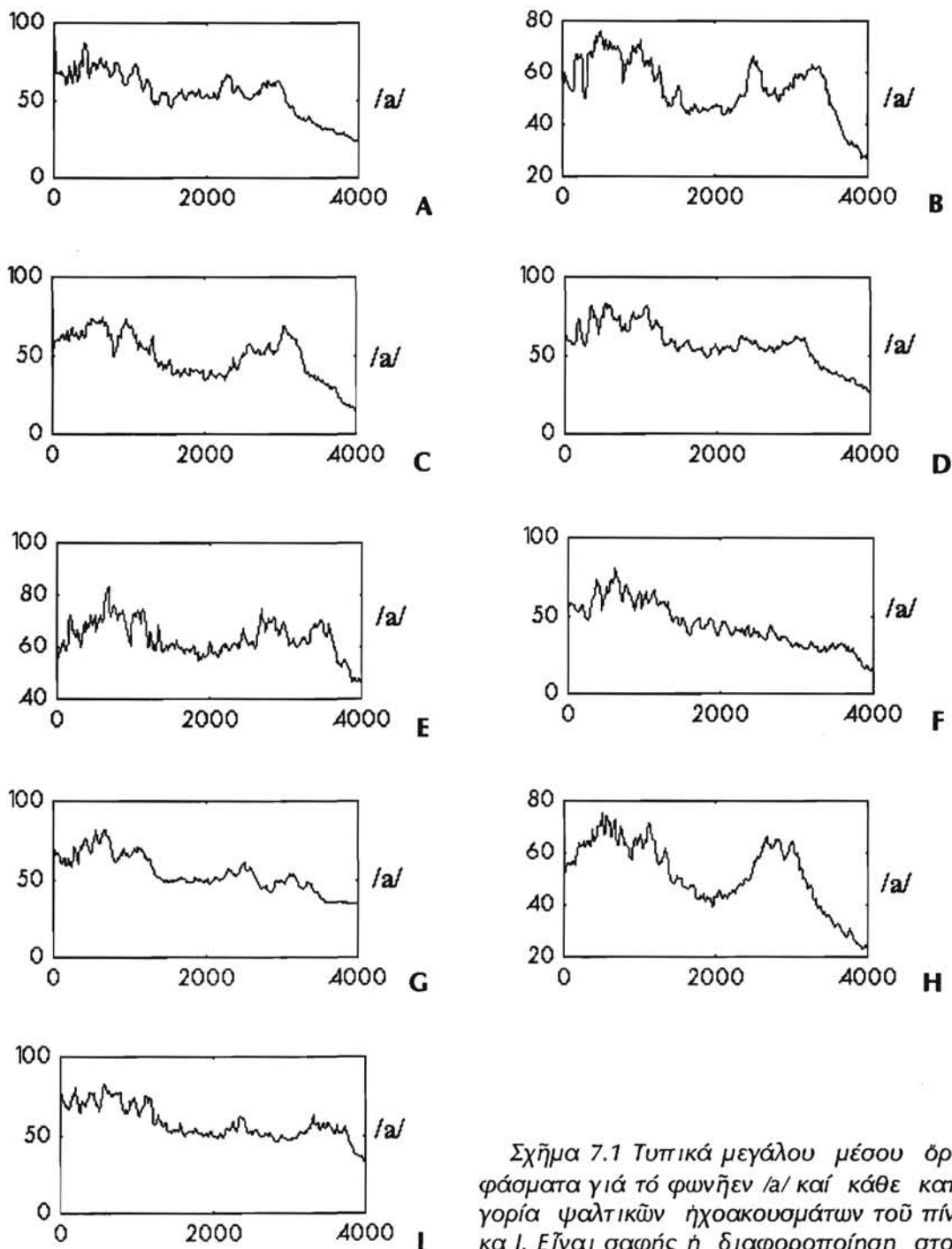
2) Προφανῶς οἱ ἀπόλυτες τιμές τῶν f_3 καί f_4 καθορίζουν τὴν αἴσθηση τῆς βαρύτητας τοῦ ἡχου. Ἐπειδὴ ὅμως ἔχουμε ἀναφέρει τὴν διαφορὰ τους σάν πρώτη παράμετρο καί πρὸς ἀποφυγὴ περιττῶν παραμέτρων χρησιμοποιοῦμε τό ἡμιάθροισμά τους $(f_3+f_4)/2$ σάν δεύτερη παράμετρο.

3) Μιά μεγάλη κλίση τοῦ φάσματος σημαίνει ἀσθενεῖς ὑψηλοὺς φωνοσυντονισμούς καί μᾶλλον μιά μὴ ψαλτικὴ φωνή.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Μιά πρώτη κατηγοριοποίηση τῶν ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων μέ βάση τίς θέσεις τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν F3 καί F4 καί τῶν σχετικῶν ἰσχύων τους στό ΜΦΜΔ φᾶσμα τους γιὰ τό φωνῆεν /a/.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Θέση τοῦ F3	Θέση τοῦ F4	Σχετικὴ ἰσχύς τῶν F3 - F4
A	<3000Hz	<3000Hz	≈ -20dB
B	<3000Hz	>3000Hz	≈ -20dB
C	≈3000Hz	≈3000Hz	≈ -20dB
D	<3000Hz	≈3000Hz	≈ -20dB
E	<3000Hz	≈3500Hz	≈ -20dB
F	ἀνεξάρτητα	ἀνεξάρτητα	≈ -30dB
G	<2500Hz	>≈3000Hz	≈ -20dB
H	≈2800Hz	≈2800Hz	≈ -20dB
I	<2500Hz	≈3500Hz	≈ -20dB



Σχήμα 7.1 Τυπικά μεγάλου μέσου όρου φάσματα για το φωνήεν /a/ και κάθε κατηγορία ψαλτικών ήχοακουσμάτων του πίνακα I. Είναι σαφής η διαφοροποίηση στους υψηλούς φωνοσυντονισμούς.

Από την γενική παρουσίαση των ψαλτικών ήχοακουσμάτων στις γενικές παρατηρήσεις της ανάλυσης προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ τους με βάση τις παραπάνω οριζόμενες παραμέτρους. Ο διαχωρισμός αυτός είναι τεχνητός και κάπως αυθαίρετος, με την έννοια ότι βασίζεται σε υποκειμενική αντίληψη. Θα

μπορούσε, όμως, νά αποτελέσει αντικείμενο ψυχοακουστικής έρευνας για νά εξακριβωθεί ή έγκυρότητά του.

Παίρνοντας υπ' όψιν όλα τά παραπάνω δημιουργήθηκε ό πίνακας ταξινόμησης άνωτέρω, όπου διακρίθηκαν διάφορες κατηγορίες ήχοακουσμάτων, πού ονομάζονται μέ τά κεφαλαία γράμματα του Λατινικού αλφαβήτου Α - Ι, και χαρακτηρίζονται από τήν θέση των F3 και F4 φωνοσυντονισμών στο φάσμα του ψαλτικού δείγματος για τό φωνήεν /a/.

Παραδείγματα φασμάτων ΜΦΜΔ για τό φωνήεν /a/ παριστάνονται στο προηγούμενο σχήμα 7.1 και ανά κατηγορία. όπου ειδικά ή κατηγορία F όρίζεται βάσει της πολύ χαμηλής ισχύος των υψηλών της φωνοσυντονισμών πού γι' αυτόν τόν λόγο τό ήχοάκουσμα αυτό άκούγεται «μουντό ή άκάθαρο».

Τά ψαλτικά φωνητικά άκούσματα, πού αντιστοιχοϋν στις άνωτέρω κατηγορίες, έχουν διάφορες ήχοχρωματικές ποιότητες, σύμφωνα βέβαια μέ τήν προσωπική μας αντίληψη. Έτσι ονομάσθηκε μία φωνή:

α) *στρογγυλή*, αν όλο τό φασματικό περιεχόμενο του άκούσμάτος της περιορίζεται κάτω από τά 3000Hz (μάλιστα μέ κάποια διαβάθμιση, σύμφωνα μέ τήν όποία στρογγυλεύει περισσότερο αν τό όριο μετακινηθεί προς τά 2500Hz), όπως οι κατηγορίες Α και Η,

β) *λεπτή*, αν οι φωνοσυντονισμοί απέχουν αρκετά μεταξύ τους, όπως ή κατηγορία Ι, ενώ αν τό πάχος τους είναι μεγάλο ή αίσθηση αυτή περιορίζεται (σημείο του ότι άκούγονται περισσότερες γειτονικές άρμονικές),

γ) *γεμάτη*, αν οι φωνοσυντονισμοί F3 και F4 έχουν πλατειά εύρη ζώνης και απέχουν μικρή συχνοτική απόσταση, όπως ή κατηγορία C,

δ) *συρματίζουσα ή μεταλλική*, αν οι φωνοσυντονισμοί F3 και F4 είναι στενοί και προς τις δύο πλευρές του όρίου των 3000Hz, όπως ή κατηγορία Β και D,

ε) *χαμηλότονη ή μπάσα*, αν ή ισχύς των F1 και F2 είναι αρκετά ύψηλότερη από εκείνη των F3 και F4, όπως ή κατηγορία F,

στ) *ύψηλότονη ή όξεία*, αν ή ισχύς των F3 και F4 είναι ίση μέ εκείνην των F1 και F2 ή και μεγαλύτερη σπάνια, όπως ή κατηγορία C, και

ζ) *πλατειά*, αν στο φάσμα υπάρχει μία περίπου ίσης ισχύος κατανομή στις διάφορες άρμονικές, και όχι μόνο.

Τέλος τό έντονο, μερικές φορές, χαρακτηριστικό της ρινοφωνίας δέν είναι εύκολα διερευνήσιμο, ως προς τήν ακουστική ανάλυση, λόγω του ότι κατά τήν χρήση του ρινικού διαύλου στην παραγωγή της φωνής, διάφορα συνωδά φαινόμενα παρατηρήθηκαν.

Ένα από αυτά έχει ήδη έρευνηθεί και είναι τά πλατειά εύρη ζώνης των φωνοσυντονισμών λόγω της μεγάλης επιφάνειας ταλαντώσεως των ρινικών επιφανειών μέ ήχοχρωματικό αποτέλεσμα ποικίλον κάθε φορά ανάλογα μέ τήν ιδιαίτερη ανατομική κατασκευή της ρινικής κοιλότητας πού δέν ίδια για όλες τις περιπτώσεις ρινοφωνιών.

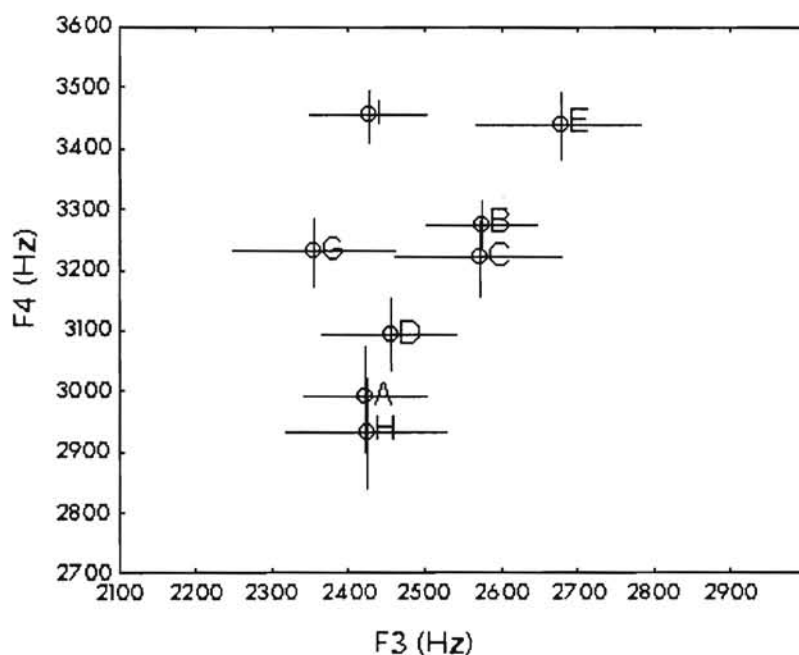
Ένα δεύτερο ακουστικό φαινόμενο ήδη περιγράφηκε και άφορα τήν απορρόφηση συγκεκριμένων συχνοτικών περιοχών του φάσματος έξ αίτίας της ισχυρής απόσβεσης της ρινικής κοιλότητας σ' αυτές. Τό αποτέλεσμα είναι μάλλον ή κακκόχη ρινοφωνία. Φαίνεται λοιπόν ότι υπάρχουν διάφορα είδη ρινοφωνιών, δηλαδή διάφορα ήχοχρωματικά αποτελέσματα της χρήσης του ρινικού διαύλου.

7.3 Η τελική ταξινόμηση τών ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων

7.3.1 Η ανάγκη γιά βελτίωση τῆς ταξινόμησης

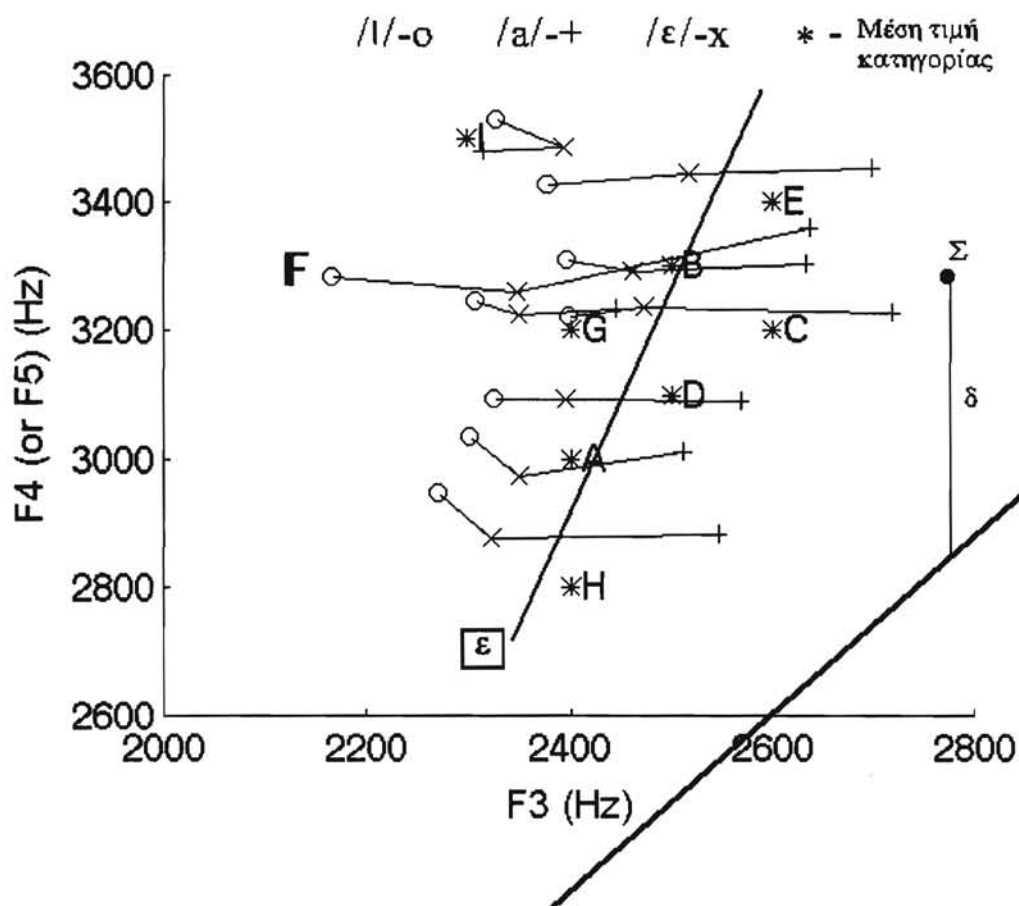
Ἄν παρασταθοῦν, γιά ὅλα τά ψαλτικά δείγματα - ἡχοακούσματα, οἱ μέσες φωνο-συντονιστικές συχνότητες τῶν φωνοσυντονισμῶν F3 καί F4 ἀνά ἡχοχρωματική κατηγορία, γιά τό ἴδιο φωνῆεν /a/, καθῶς καί οἱ ἀντίστοιχες τυπικές ἀποκλίσεις (σάν ἄξονες ἐλλείψεων) ἔχουμε τό σχῆμα 7.2.

Παρατηροῦμε τήν ἐπικάλυψη ὠρισμένων κατηγοριῶν (A καί H, B καί C) ἀλλά καί τόν πλήρη διαχωρισμό μεταξύ ἄλλων (I, E, G, D). Τό ἐρώτημα εἶναι πῶς θά διαχωρισθοῦν μεταξύ τους οἱ ἐπικαλυπτόμενες κατηγορίες μέ βάση ἀκουστικές παραμέτρους ἔτσι ὥστε νά περιγράφονται οἱ παρατηρούμενες φασματικές διαφορές τοῦ σχήματος 7.1;



Σχῆμα 7.2 Σχεσιόγραμμα τῶν μέσων ὑψηλῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων ἀνά κατηγορία ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων καί οἱ ἀντίστοιχες τυπικές ἀποκλίσεις τους. Παρατηροῦμε τήν ἀλληλεπικάλυψη μεταξύ ὠρισμένων κατηγοριῶν, ὅπως οἱ A καί H, οἱ B καί C, ἢ τόν πλήρη διαχωρισμό μεταξύ ἄλλων κατηγοριῶν, ὅπως οἱ G, D, I καί E.

Τό ερώτημα αυτό δέν εἶναι τό μοναδικό. Ἐνα ἐπί πλέον ερώτημα τίθεται ὡς πρὸς τὰ ὑπόλοιπα φωνήεντα. Ἰσχύει ἄραγε ἡ ἴδια κατηγοριοποίηση γιὰ τὰ ἄλλα φωνήεντα ἢ μεταβάλλεται ὅταν ἀλλάζει τό φωνήεν;



Σχήμα 7.3 Μέσες φωνοσυντονιστικές συχνότητες γιὰ καθένα ἀπὸ τὰ φωνήεντα /a, ε, I/ καί ἀνά κατηγορία ψαλτικῶν ἡχοακουσμάτων. Σχεδιάζεται ἀκόμη, ἡ διαγώνιος τῆς ὁποίας τὰ σημεῖα της ἰσαπέχουν ἀπὸ τοὺς ἄξονες, καί ἡ εὐθεία ε ἡ ὁποία διαπερνᾷ στό μέσο περίπου τίς κατηγορίες. Κάθε σημεῖο τοῦ σχεσιογράμματος ἔχει κατακόρυφη ἀπόσταση ἀπὸ τὴν διαγώνιο ἴση μὲ τὴν διαφορά τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων $\delta = f_4 - f_3$. Ἡ ἀπόσταση δ αὐξάνει καθὼς διατρέχουμε τὴν εὐθεία ε πρὸς τὰ πάνω ὅπως ἐπίσης αὐξάνει κατὰ τὴν μετάβαση ἀπὸ τό φωνήεν /a/ στό /ε/ καί στό /I/.

Ἐξετάζοντας τίς μέσες τιμές τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων ἀνά κατηγορία γιὰ τὰ ὑπόλοιπα φωνήεντα ἔχουμε νά σημειώσουμε τὰ ἑξῆς:

- α) Οἱ τιμές αὐτές εἶναι περίπου οἱ ἴδιες γιὰ τὰ ὀπίσθια φωνήεντα /a, o, U/.
- β) Οἱ τιμές αὐτές διαφοροποιοῦνται γιὰ τὰ φωνήεντα /ε, I/.

γ) Για τούς προηγούμενους δύο λόγους παριστάνονται σέ σχεσιόγραμμα οί μέσες τιμές γιά τούς φωνοσυντονισμούς F3 καί F4 καί τά φωνήεντα /a, ε, ι/ (σχ. 7.3).

Στό σχήμα 7.3, σημειώνονται τά φωνήεντα /a/, /ε/, /ι/, μέ τά σύμβολα (+, x, o) αντίστοιχα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ή διαφορά τών φωνοσυντονιστικών συχνοτήτων $f_4 - f_3$, γιά ένα δεδομένο σημείο εκφράζεται από τήν κατακόρυφη απόσταση από τήν διαγώνιο τοῦ σχεσιογράμματος. Ἄν ή μεταβολή από φωνήεν σέ φωνήεν ακολουθοῦσε παραλλήλη πρός τήν διαγώνιο κατεύθυνση δέν θά ὑπῆρχε καμμία ἀλλαγὴ σ' αὐτήν τήν διαφορά, γιά τό ἴδιο φωνήεν. Γιά κάποιες ὁμάδες - κατηγορίες ή μεταβολή /ε/ → /a/, εἶναι παράλληλη στόν ἄξονα F3, πρᾶγμα πού σημαίνει μεγάλη σχετική μεταβολή π.χ ή ὁμάδα C, ἐνῶ γιά ἄλλες κατηγορίες ή μεταβολή /ε/ → /a/ εἶναι μέ κλίση, π.χ ή ὁμάδα A, ή ὁποία προσεγγίζει τήν κλίση τῆς διαγωνίου πού σημαίνει ὅτι ή σχετική μεταβολή εἶναι μικρή. Ἡ σχετική αὐτή μεταβολή εἶναι συνάρτηση τῆς κλίσης τῆς ἀφενός καί τοῦ μήκους τῆς ἀφετέρου. Ἡ κλίση τῆς μπορεῖ νά μετρηθεῖ σάν ἀπόκλιση από τήν διαγώνιο.

Ἀκόμη, ὅλες οἱ κατηγορίες πλὴν τών F καί f ἔχουν μιά μετατόπιση πρός τά ἀριστερά, περίπου παράλληλα πρός τήν εὐθεῖα ε. Καθώς ή ἀπόσταση δ αὐξάνει, αὐξάνει καί ή συχνοτική διαφορά $f_4 - f_3$. Ἡ ἐλάττωση τῆς δ μέ τήν μετατόπιση πρός τά κάτω σημαίνει τήν ἐλάττωση τῆς ἀπόστασης μεταξύ τών φωνοσυντονισμῶν F3 καί F4 μεταξύ τών κατηγοριῶν, πρᾶγμα ἀναμενόμενο ἀλλά ή πρός τά ἀριστερά μετατόπιση σημαίνει ὅτι δέν μετατοπίζονται ἀνάλογα οἱ δύο φωνοσυντονισμοί ἀλλά ὁ F4 ἐλαττώνεται περισσότερο ἀπό τόν F3.

Μέ ἐξαίρεση τήν κατηγορία F, ή ὁποία ὅπως εἶδαμε βασίζεται στήν σχέση τών σταθμῶν ἰσχύος μεταξύ ὑψηλῶν καί χαμηλῶν φωνοσυντονισμῶν, καί ὄχι σέ κριτήρια συχνοτήτων, ὅλες οἱ κατηγορίες εἶναι μετατοπισμένες ή μία ὡς πρός τήν ἄλλη πρός τά κάτω, δηλαδή μέ μεταβολή κυρίως τῆς τέταρτης φωνοσυντονιστικῆς συχνότητας.

Ἐνα σημαντικό συμπέρασμα εἶναι ή ἀπάντηση στό ἀνωτέρω ἐρώτημα γιά τήν κατηγοριοποίηση ἀνά φωνήεν: Πράγματι, ἀλλάζει ή κατηγοριοποίηση σέ συνάρτηση μέ τό φωνήεν καί μάλιστα οἱ θέσεις τών σημείων - κατηγοριῶν εἶναι μετατοπισμένες ἀριστερότερα γιά τήν σειρά τών φωνηέντων /a, ε, ι/ (βλέπε στό σχήμα 7.3 τίς διαφορετικές ἀνά φωνήεν κουκκίδες). Ἔτσι ή συχνοτική ἀπόσταση $f_4 - f_3$ εἶναι ή μεγαλύτερη γιά τό φωνήεν /ι/ καί ή μικρότερη γιά τό φωνήεν /a/, γιά ὅλες τίς κατηγορίες.

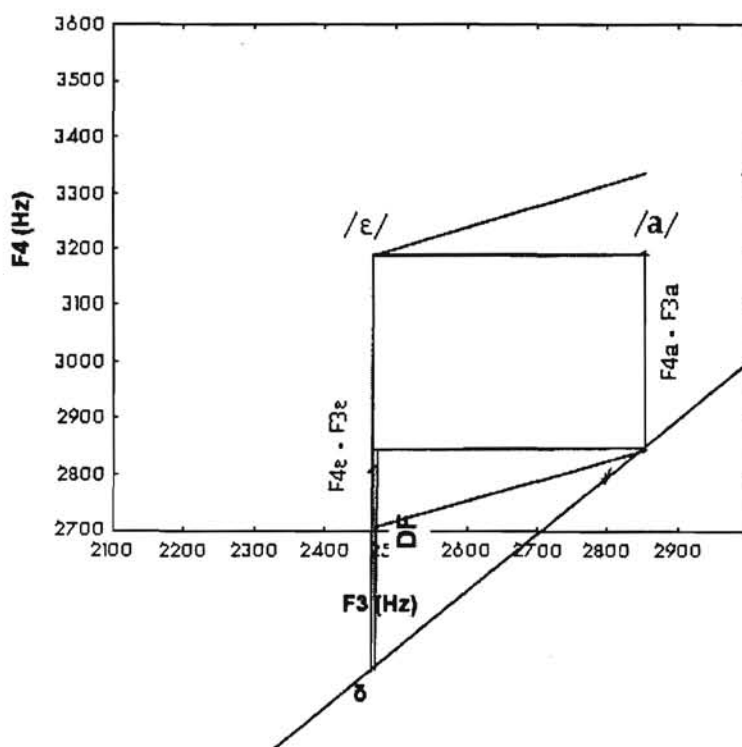
Προσπαθώντας νά ἀπαντηθεῖ τό πρῶτο ἐρώτημα σχετικά μέ τήν διάκριση τών ἀλληλεπικαλυπτόμενων κατηγοριῶν, πρέπει νά ἐπισημανθεῖ ή ἀνάγκη τοῦ νά χρησιμοποιηθεῖ ή πληροφορία γιά τίς διαφορές μεταξύ τών φωνηέντων ὡς πρός τήν κατηγοριοποίηση. Οἱ ὁμάδες πού ἀλληλοεπικαλύπτονται εἶναι ή A μέ τίς H καί D, καθώς καί ή B μέ τήν C. Οἱ ὁμάδες αὐτές μποροῦν νά διακριθοῦν μεταξύ τους ἂν ἐξετασθεῖ αὐτή ή σχετική μεταβολή πού ἀναφέρθηκε.

Ἔτσι εἰσάγω δύο νέες παραμέτρους οἱ ὁποῖες ἐνσωματώνουν τήν ἀνωτέρω πληροφορία : τίς ἐννοιες τῆς ὁμοιογένειας καί τῆς τάσης γιά συνένωση.

7.3.2 Οι έννοιες της ομοιογένειας και της τάσης για συνένωση

7.3.2.1. Η ομοιογένεια (Homogeneity)

Μεταξύ διαφορετικών φωνηέντων, λοιπόν, ή συχνοτική απόσταση δ μεταξύ των υψηλών φωνοσυντονισμών έχει μία τυπική, βαθμιαία αυξανόμενη, τιμή καθώς πηγαίνουμε από τα όπισθια φωνήεντα προς τα εμπρόσθια. Είδαμε ότι σε μερικές περιπτώσεις τέτοιων ήχων παρατηρείται μία μικρή αλλαγή της δ , ειδικά μεταξύ των φωνηέντων /a/ και /ε/. Έφ' όσον έχουμε δεχθεί ότι η δ συνεισφέρει σημαντικά στο ψαλτικό ήχόχρωμα, ή σταθερότητά του μεταξύ των φωνηέντων σημαίνει ομοιογένεια στο φωνητικό τίμπρο.



Σχήμα 7.4 Σχηματική παράσταση της ομοιογένειας. Η απόλυτη μεταβολή Df εκφράζει την μεταβολή της συχνοτικής διαφοράς $f_4 - f_3$ μεταξύ των φωνηέντων /a/ και /ε/ ενώ η σχετική μεταβολή $Df\%$ εκφράζει την απόλυτη μεταβολή ως προς την συχνοτική διαφορά για τό φωνήεν /a/.

Προφανώς παρατηρείται μεγαλύτερη μεταβολή στην δ κατά την μετάβαση από τό φωνήεν /a/ στο /I/. Η ομοιογένεια θά μπορούσε νά ορισθεί είτε σάν απόλυτο

μέγεθος τό όποιο έκφράζει τήν μεταβολή τής συχνοτικής διαφορᾶς δ μεταξύ /a/ καί /ε/, εἴτε σάν σχετικό ποσοστιαῖο μέγεθος έκφράζοντας τήν ἄνωτέρω ἀπόλυτη μεταβολή ὡς πρὸς τήν συχνοτική διαφορά δ γιά τό φωνήεν /a/. Ὅμως ἡ μεταβολή μεταξύ τῶν ἄλλων φωνηέντων μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ συμπληρωματικά γιά τήν διάκριση μεταξύ τῶν ομάδων μαζί μέ τά προηγούμενα κριτήρια.

Ἡ ἀπόλυτη μεταβολή ὀρίζεται ὡς ἐξῆς:

$$Df = f_{4ε} - f_{3ε} - (f_{4a} - f_{3a}) \quad (7.1.)$$

ὅπου $F_{4ε}$, $F_{3ε}$, F_{4a} , καί F_{3a} εἶναι οἱ φωνοσυντονιστικές συχνότητες F_3 καί F_4 γιά τά φωνήεντα /a, ε/, ἐνῶ ἡ σχετική μεταβολή ὀρίζεται:

$$Df\% = \frac{f_{4ε} - f_{3ε} - (f_{4a} - f_{3a})}{f_{4a} - f_{3a}} \times 100\% \quad (7.2.)$$

σέ σχέση μέ τήν ἀπόσταση γιά τό φωνήεν /a/ μεταξύ F_3 καί F_4 .

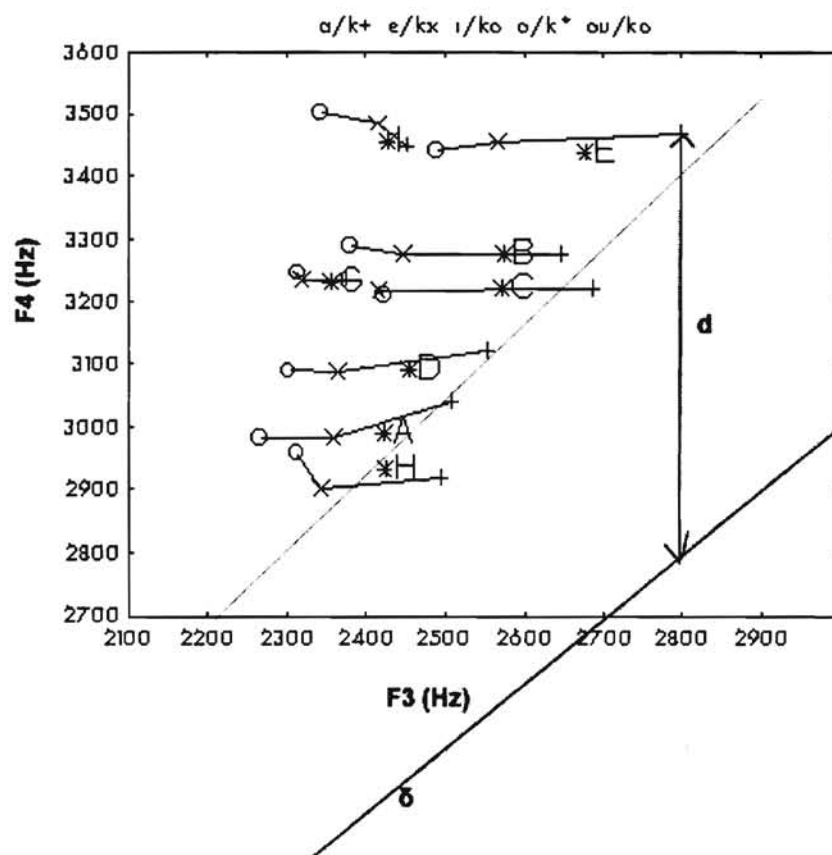
Οἱ τιμές αὐτές τής σχετικής καί ἀπόλυτης μεταβολῆς τής δ μεταξύ τῶν φωνηέντων /a, ε/, μᾶς δίνουν ἓνα μέτρο τής ὁμοιογένειας τοῦ ψαλτικοῦ ἤχου μεταξύ αὐτῶν τῶν φωνηέντων έκφράζοντας ἔτσι καί γενικότερα τήν ὁμοιογένεια τής ψαλτικής φωνῆς. Θά χρειασθοῦν βέβαια ψυχοακουστικά δεδομένα γιά τήν πλήρη ἐπαλήθευση τής χρησιμότητας τής ὁμοιογένειας καί πιθανόν νά χρειάζεται βελτίωση στόν ὀρισμό της. Ὅμως ἡ ἀναγκαιότητά της γιά τήν διάκριση τῶν ψαλτικῶν ἡχοχρωμάτων εἶναι σημαντική ἀφοῦ δέν εἶναι βέβαιο ὅτι ὅλες οἱ ψαλτικές φωνές εἶναι καλλιεργημένες (καί αὐτό πρέπει νά φανερωθῇ), καί ἐφ' ὅσον ἡ ἀπαίτηση γιά φωνητική ὁμοιογένεια εἶναι σημαντική γιά τήν καλή αἰσθητική τής φωνητικῆς μουσικῆς.

Στό ἄνωτέρω σχῆμα 7.4 παριστάνεται ἡ ιδιότητα τής ὁμοιογένειας γραφικά. Παρατηροῦμε ὅτι ἡ παράμετρος Df ἐξαρτᾶται μόνο ἀπό τό μήκος τής μεταβολῆς /ε/ → /a/, τό όποιο τήν καθορίζει, καί τήν κλίση της ὡς πρὸς τήν διαγώνιο, ἐνῶ δέν ἐξαρτᾶται ἀπό τό ὕψος της. Γιά παράδειγμα, οἱ ομάδες Α καί Η δέν ἔχουν τήν ἴδια κλίση ἀλλά ἔχουν περίπου τήν ἴδια μεταβολή /ε/ → /a/ ὁπότε διαφέρουν κατά τήν Df , ἐνῶ οἱ ομάδες Β καί Γ παρουσιάζουν σχετική κατακόρυφη μετατόπιση ἀλλά τό μήκος τής μεταβολῆς /ε/ → /a/ εἶναι ὀριζόντιο καί τοῦ ἴδιου μήκους. Ἐτσι οἱ ομάδες Β, Γ ἔχουν τήν ἴδια τιμή Df . Γιά νά διακριθοῦν καί αὐτές χρησιμοποιοῦμε τήν ποσοστιαία μεταβολή /ε/ → /a/ στήν όποία λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν ἡ κατακόρυφη ἀπόσταση ἀπό τήν διαγώνιο, δ.

Ἡ μέτρηση τής ὁμοιογένειας μέ βάση τήν σχετική μεταβολή τής συχνοτικής διαφορᾶς δ βασίζεται οὐσιαστικά στήν παρατήρηση ὅτι, καθῶς οἱ δύο κορυφές του στόν φάκελο τοῦ φάσματος ἀπομακρύνονται, τό ψαλτικό ἡχόχρωμα παίρνει ἐνα πιά «ἐλαφρύ» ἄκουσμα, τό όποιο ὁμως δέν εἶναι τό ἴδιο ἂν ἡ θέση τοῦ ΦΤ εἶναι χαμηλά στό φάσμα. Ἐτσι ἡ ποσοστιαία μεταβολή /ε/ → /a/ εἶναι χρήσιμη γιατί περιγράφει τήν μεταβολή σέ σχέση μέ τήν θέση τῶν F_3 καί F_4 φωνοσυντονισμῶν στό φάσμα.

7.3.2.2. Η τάση για συνένωση (Clustering tendency)

Σύμφωνα με την ανάλυση στο κεφάλαιο 3, μετά την 5η αρμονική ή απόσταση μεταξύ διαδοχικών αρμονικών είναι μικρότερη από το 20% της θεμελιώδους συχνότητας οπότε δημιουργείται σύγχυση μεταξύ τους και έπομένως τραχύτητα.

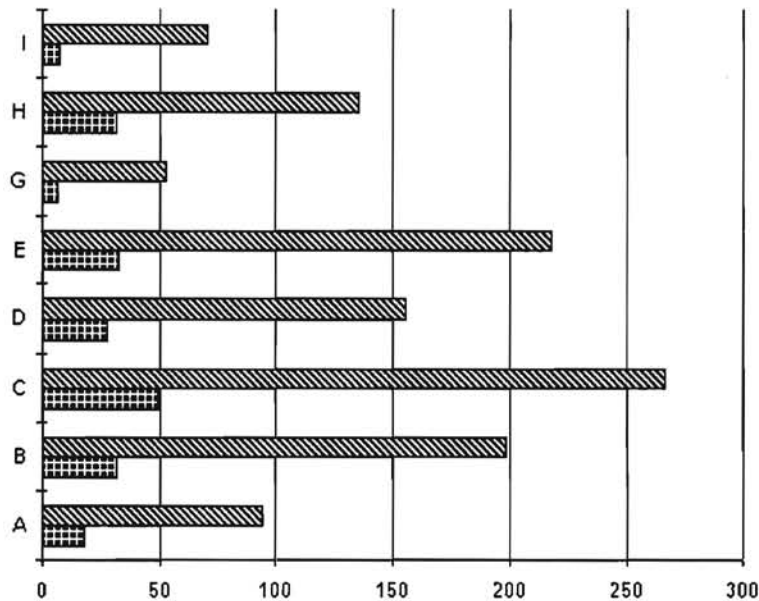


Σχήμα 7.5 Το ίδιο ως άνω σχεσιόγραμμα (σχ. 7.3) με την διαφορά ότι εμφανίζεται η ευθεία $f4/f3 = 1.22$ σαν στικτή γραμμή, η οποία καθορίζει ότι αν η απόσταση d μεταξύ των υψηλών φωνοσυντονισμών είναι μικρή παρατηρείται τάση για συνένωσή τους (clustering tendency). Σε ώρισμένες κατηγορίες παρατηρείται μερική τάση για συνένωση ειδικά για τό φωνήεν /α/ και έπομένως για όλα τα όπίσθια φωνήεντα, τά όποια δέν παριστάνονται για λόγους απλότητας στό σχήμα. Σε άλλες κατηγορίες δέν παρατηρείται καθόλου τάση για συνένωση.

Οι πιό ισχυρές κοντινές αρμονικές είναι αυτές οι όποιες ένισχύονται από τούς φωνοσυντονισμούς. Έπομένως, για νά έξετασθεϊ τό αν δημιουργούν τραχύτητα ή όχι, άρκεϊ νά έξετασθούν οι φωνοσυντονιστικές συχνότητες αυτών των φωνοσυντονισμών. Μ' αυτόν τόν τρόπο συγκρίνουμε τίς φωνοσυντονιστικές συχνότητες των F3 και F4 φωνοσυντονισμών ως πρόσ τό αντίληπτικό όριο του 20% της κεντρικής - μέσης τους συχνότητας:

$$f4 - f3 \leq 0.2 \times \frac{f4 + f3}{2} \quad (7.3.)$$

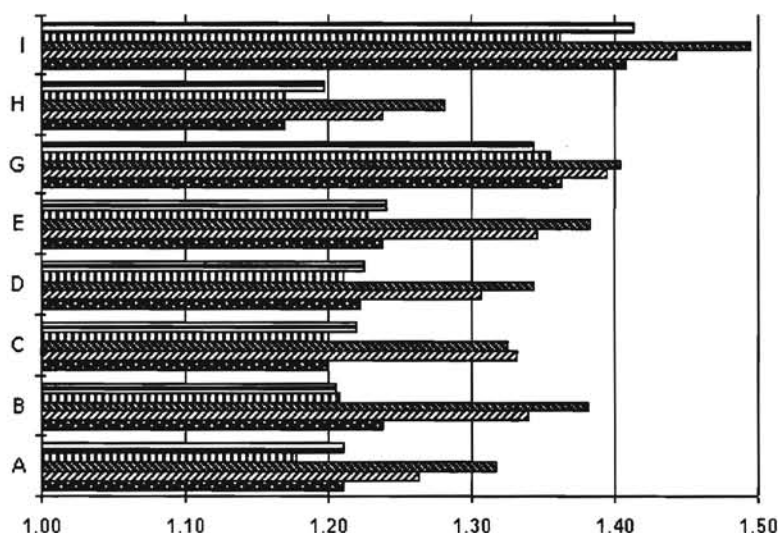
πράγμα που σημαίνει ότι $f4/f3 \leq 11/9 = 1.22$, δηλαδή ψαλτικά ήχοχρώματα με τό πηλίκο τῶν φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων τῶν $F4$ καί $F3$ ἴσο μέ 1.22 ἀντιστοιχοῦν σέ ὑψηλούς φωνοσυντονισμούς που δημιουργοῦν ἀντιληπτική σύγχυση καί ἐπομένως ἐκδηλώνουν ἐπίσης τραχύτητα ὅπως καί στά ὁπερατικά φωνητικά φάσματα. Τό φαινόμενο φαίνεται ὅτι ἐξαρτᾶται ἐν μέρει ἀπό τήν τεχνική τῆς καθόδου τοῦ λάρυγγος ἀλλά καί ἀπό τήν φυσική ἀνατομική κατασκευή τοῦ φωνητικοῦ ὀργάνου χωρίς ἰδιαίτερη προσαρμογή λόγω ἐξάσκησης.



Σχῆμα 7.6 Ἡ παράσταση τῆς ἀπόλυτης καί σχετικῆς μεταβολῆς Df καί $Df\%$ ἀνά κατηγορία. Παρατηροῦμε ὅτι κατηγορίες που ἐπικαλύπτονται στό σχεσιόγραμμα 7.2, ὅπως οἱ B καί C, διακρίνονται μεταξύ τους λόγω μεγάλης ἀνομοιογένειας τῆς δεύτερης.

Περιγράφουμε αὐτό τό φαινόμενο σάν τάση γιά συνένωση ἢ συγκερασμό. Στό σχῆμα 7.5 ἔχει σχεδιασθεῖ ἡ γραφική παράσταση τῆς εὐθείας $f4/f3 = 1.22$, ἡ ὁποία ὀριοθετεῖ τήν περιοχή τιμῶν γιά τίς ὁποῖες ὑπάρχει τάση γιά συνένωση: δηλαδή τήν περιοχή στό σχῆμα, κάτω ἀπ' αὐτήν. Παρατηροῦμε ὅτι, γιά τήν κατηγορία H, ἡ τάση γιά συνένωση ὑπάρχει σχεδόν γιά ὅλα τά φωνήεντα (ἡ στικτή γραμμή περνᾷ πάνω ἀπό τό κέντρο τῆς κατηγορίας H) ἐνῶ ὑπάρχει μερικῶς μόνο γιά τίς κατηγορίες C καί A, καί καθόλου γιά τίς ἄλλες κατηγορίες. Αὐτό σημαίνει ὅτι, γιά τήν κατηγορία H ἐμφανίζεται μόνο μία κορυφή γιά ὅλα τά φωνήεντα, δηλαδή μέ ὀλική τάση γιά συνένωση, ἐνῶ, γιά τήν κατηγορία A, ὀλική τάση γιά συνένωση ἐμ-

φανίζεται μόνο στά όπίσθια φωνήεντα. Ή κατηγορία D δέν έμφανίζει τάση γιά συνένωση καθόλου. Τέλος μεταξύ τών B καί C κατηγοριών, μόνο ή C έμφανίζει μερική τάση γιά συνένωση δηλαδή τείνουν νά συγκερασθοῦν τά F3 καί F4 μόνο γιά τά όπίσθια φωνήεντα.



Σχήμα 7.7 Ή τάση γιά συνένωση ανά κατηγορία καί φωνήεν. Είναί φανερή ή διάκριση τής κατηγορίας H από τίς άλλες κατηγορίες έπειδή σ' αὐτήν είναί μεγάλη ή τάση γιά συνένωση, κυρίως, γιά τά όπίσθια φωνήεντα.

7.3.3 Η τελική ταξινόμηση

Είδαμε πίο πάνω ότι οι ομάδες A καί H διαφέρουν κατά τήν όμοιογένεια μέσω τής παραμέτρου DF αλλά καί κατά τήν τάση πρός συνένωση. Οι A καί D διαφέρουν κατά τήν τάση γιά συνένωση όπως καί οι B καί C. Κατ' αὐτή τήν έννοια γιά νά μπορέσουν νά διακριθοῦν μεταξύ τους τά ψαλτικά ήχοακούσματα πρέπει νά ληφθοῦν ὑπ' όψιν καί αὐτοί οι δύο επί πλέον παράγοντες, δηλαδή τής όμοιογένειας καί τής τάσης γιά συνένωση.

Έτσι διαμορφώνονται οι έξής τέσσερις παράγοντες ταξινόμησης:

1. Ή διαφορά $f4 - f3$, δηλαδή ή απόσταση μεταξύ τών ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν στό φάσμα τοῦ ψαλτικοῦ ήχοακούσματος, όπου τά $f4$ καί $f3$ ὑποδηλώνουν μέσες τιμές φωνοσυντονιστικῶν συχνοτήτων γιά όλα τά φωνήεντά του /a, ε, I, ο, U/. Έτσι ισχύει:

$$f4 = (f4a + f4ε + f4i + f4o + f4u) / 5 \text{ καί ανάλογα γιά τήν } f3.$$

2. Ή τιμή $(f3 + f4) / 2$, δηλαδή ή θέση του στό φάσμα.

3. Ή DF απόλυτη μεταβολή ή ή DF% σχετική μεταβολή μεταξύ τών φωνηέντων /a, ε/, δηλαδή ή όμοιογένεια.

4. Ό λόγος $F4(i) / F3(i)$, δηλαδή ή τάση γιά συνένωση γιά κάθε φωνήεν (I).

Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές της ομοιογένειας και της τάσης για συνένωση ανά κατηγορία ψαλτικών ήχοακουσμάτων έχουμε τα παρακάτω γραφήματα:

Από τό πρώτο διάγραμμα βλέπουμε ότι ή κατηγορία C είναι ή πλέον ανομοιογενής τόσο ως προς τήν απόλυτη μεταβολή όσο και προς τήν σχετική μεταβολή μέ τήν κατηγορία B νά ακολουθεϊ στή σειρά.

Στό δεύτερο διάγραμμα φαίνεται ανά φωνήεν και ανά κατηγορία ό λόγος f_4/f_3 όπου παρατηρούμε ότι,

α) τό όριο 1.22 καθορίζει κυρίως τά όπίσθια φωνήεντα τά όποϊα χαρακτηρίζονται από μικρή τιμή διαφοράς δ ,

β) στήν κατηγορία Η μόνο για τό φωνήεν /I/ φαίνεται νά μήν υπάρχει τάση για συνένωση, για όλα τά ψαλτικά ήχοακούσματα αὐτῆς τῆς κατηγορίας,

γ) υπάρχουν δύο κατηγορίες, οί G και I, για τίς όποϊες δέν υπάρχει καθόλου τάση για συνένωση, για όλα τά φωνήεντα, για τούς φωνοσυντονισμούς F3 και F4.

Όσον αφορά στήν τελευταία παρατήρηση, αὐτό όφείλεται στήν χαμηλή θέση τοῦ F3 τό όποϊο, μάλιστα αρκετές φορές στήν κατηγορία G, τείνει νά συνενωθεϊ μέ τό F2 για τό φωνήεν /I/ δίνοντας ένα χαρακτηριστικό ήχόχρωμα. Αντίθετα στήν κατηγορία I όφείλεται και στήν ύψηλή θέση τοῦ F4 και στήν χαμηλή θέση τοῦ F3.

Έδῶ πρέπει νά τονίσουμε ότι αρκετές φορές κοντά στόν F4 φωνοσυντονισμό ύπάρχει ένα ασθενέστερος F5 φωνοσυντονισμός ό όποϊος συνενώνεται μέ τό F4 μέ μικρή επίδραση στό τελικό ήχόχρωμα, γιαυτό στίς περιπτώσεις αὐτές θεωρήσαμε μόνο τόν φωνοσυντονισμό F4 άγνοώντας τόν F5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Χαρακτηριστικά του ψαλτικού ήχοακούσματος

Μετά την προηγηθεῖσα ανάλυση είναι φανερό ότι μπορούμε να έχουμε μία εκτίμηση του τί χαρακτηριστικά πρέπει να έχει, πραγματικά, ένα ψαλτικό ήχοακούσμα και επομένως μία ψαλτική φωνή.

8.1.1 Τό ψαλτικό μόρφωμα

Είδαμε ότι βασικό χαρακτηριστικό του φάσματος ενός ψαλτικού ήχοακούσματος είναι η παρουσία μιᾶς ενισχυμένης περιοχῆς συχνοτήτων του φάσματος γύρω από 3000Hz, τήν ὁποία μπορούμε στό ἐξῆς να ὀνομάζουμε *ψαλτικό μόρφωμα*.

Τό ψαλτικό μόρφωμα εἶναι αὐτό πού κάνει ὀξεῖα (πρίμα) τήν φωνή καί ἐπομένως «προβάλλει» πρὸς τὰ ἐμπρὸς τόν φωνητικό ἦχο, δηλαδή, ὁ ψαλτικός ἦχος ἀποκτᾶ ἰσχυρή κατευθυντικότητα λόγω τῶν ἰσχυρῶν ἀρμονικῶν ὑψηλῆς τάξης, οἱ ὁποῖες διαδίδονται κυρίως πρὸς τὰ ἐμπρὸς ἀπὸ τόν ψάλτη. Οἱ ἐνισχυμένες ὑψηλές ἀρμονικές ὑπερισχύουν καί ἔναντι τοῦ θορύβου, ὁ ὁποῖος ὑπάρχει μέσα στοὺς ναοὺς κατὰ τήν θεία λατρεία καί ὀφείλεται κυρίως σέ φωνητικούς ἦχους ὀμιλίας, οἱ ὁποῖοι ἔχουν κατὰ βάση ἐνισχυμένες τίς χαμηλές ἀρμονικές.

Ταυτόχρονα τό ψαλτικό ἡχόχρωμα, ἐπεὶδὴ πρέπει νὰ διαφέρει σαφῶς ἀπὸ τό ἡχόχρωμα τῆς ὀμιλίας ἀλλὰ καί νὰ μοιάζει μέ τόν ἦχο μουσικοῦ ὀργάνου, γιὰ λόγους καλαισθησίας, πρέπει νὰ περιέχει ὑψηλές ἀρμονικές, καί ἕνας τρόπος γιὰ νὰ γίνεται αὐτό εἶναι νὰ ὑπάρχει τό ψαλτικό μόρφωμα.

Ἐνα ἐρώτημα προκύπτει σχετικὰ μέ τήν ἀρθρωτική προέλευση τοῦ ψαλτικού μορφώματος: Ποιές ἀρθρωτικές διευθετήσεις γίνονται προκειμένου νὰ ἀποκτᾶ τό ψαλτικό ἀκούσμα καί ἐπομένως ἡ ψαλτική φωνή ἐνισχυμένες ὑψηλές ἀρμονικές; Ἡ ἀκριβὴς ἀπάντηση σ' αὐτό τό ἐρώτημα ἀπαιτεῖ περαιτέρω ἐρευνα ἢ ὁποία θὰ μελετήσει ἀρθρωτικούς, φασματικούς, καί πιθανόν, καί ψυχοακουστικούς παράγοντες σέ συγκεκριμένες ψαλτικές φωνές ἔτσι ὥστε νὰ βρεθεῖ ἡ ἀλληλεπίδρασή τους. Στό σημεῖο αὐτό μπορούμε νὰ θεωρήσουμε, βάσει τῶν δεδομένων τῆς δικῆς μας ἐρευνας ἀλλὰ καί τῶν συμπερασμάτων προηγηθέντων ἐρευνητῶν, τὰ ἐξῆς:

α) Λόγω τῆς αὐξησης τῆς φωνοσυχνότητος F3, γιὰ τὰ ψαλτικά ὀπίσθια φωνήεντα /a, o, U/, καί τῆς ἐξάρτησής τους ἀπὸ τό μέγεθος τῆς στοματικῆς κοιλότητος, συμπεραίνουμε ὅτι ἡ αὐξηση τῆς τελευταίας μέ ὀπισθοχώρηση τῆς γλώσσας πρὸς τόν οὐρανίσκο, φανερώνει μία τάση γιὰ ψαλμώδηση μέ διογκωμένο στόμα. Γιὰ τὰ ψαλτικά φωνήεντα /ε, Ι/ ὁμως, ἡ F3 ἐλλατώνεται, πού σημαίνει ὅτι ἐγκαταλείπεται ἡ προηγούμενη τεχνική καί ἡ ἄκρη τῆς γλώσσας δημιουργεῖ στένωση τοῦ φωνητικοῦ συστήματος πιὸ μπροστὰ ἀπ' ὅτι στήν ὀμιλία.

β) Ὁ φωνοσυντονισμός F4, ἄμεσα ἐξαρτώμενος ἀπὸ τό σχῆμα τοῦ λαρυγγικοῦ σωλῆνα, ἐπηρεάζεται ἀπὸ τήν κάθοδο τοῦ λάρυγγα, τήν διεύρυνση τῆς φαρυγγικῆς κοιλότητος καί τήν στρογγυλοποίηση τῶν χειλιῶν. Ἐπεὶδὴ οἱ ψάλτες δέν καλλιερгоῦν συνήθως τήν φωνή τους σύμφωνα μέ τόν τρόπο τοῦ ὀπερατικοῦ τραγουδιοῦ, εἶναι μᾶλλον ἀπίθανη μία διεύρυνση τοῦ φάρυγγα. Τόσο ὁμως ἡ κάθοδος τοῦ λάρυγγα ὅσο ἡ ὀπισθοχώρηση τῆς γλώσσας καί ἡ στρογγυλοποίηση

τῶν χειλιῶν, εἶναι τεχνικές πού ἐφαρμόζονται γιατί κάνουν πιό «γεμᾶτη» τήν φωνή, πλησιάζοντας τόν φωνοσυντονισμό F4 πρὸς τόν F3 καί κατά συνέπεια ἐνισχύοντας τήν περιοχή συχνοτήτων τοῦ φάσματος, κοντά σ' αὐτά.

γ) Παρόλα ταῦτα ἡ ἐνίσχυση τῶν φωνοσυντονισμῶν ὑψηλῆς τάξης δέν ὀφείλεται μόνο στήν ἄρθρωση ἀλλά ἐξαρτᾶται καί ἀπὸ τήν πηγαία φωνή τοῦ ψάλτη, τῆς ὁποίας τό φᾶσμα, ὑποδηλώνει τόν τρόπο φώνησής του. Ἡ μικρή κλίση στό φᾶσμα τῆς ψαλτικῆς φωνῆς ὑποδηλώνει ὅτι ἡ συνηθισμένη ψαλτική φώνηση εἶναι ἡ φώνηση ροῆς ἢ ἡ πεπιεσμένη φώνηση μέ ἐπικρατέστερη τῇ δεύτερη, πρᾶγμα, ὅμως, πού χρειάζεται ἐπιβεβαίωση μέ μελέτη τῆς ἰδίας τῆς ψαλτικῆς πηγαίας φωνῆς. Ἡ ἀπλὴ παρατήρηση γιά τήν ὑπαρξὴ ἰσχυρῆς θεμελιώδους συχνότητας στά φασματογραφήματα ἐνισχύει τήν ἄποψη γιά τήν λειτουργία τῆς γλωττίδας μέ φώνηση ροῆς. Ὑπάρχει, ὅμως, μιὰ ὑπόνοια, γιά μερικούς ψάλτες, καί μάλιστα παλαιότερων ἐποχῶν, ὅτι χρησιμοποιοῦσαν πεπιεσμένη φώνηση. Αὐτό προκύπτει ἀπὸ τήν αἴσθηση, πού ἔχουμε ἀκούγοντας τίς ἠχογραφήσεις, τῆς προσπάθειας πού καταβάλουν, μέ ἀποτέλεσμα νά ψάλλουν μέ μᾶλλον χαμηλὴ στάθμη ἤχου. Τὰ χαρακτηριστικά αὐτά ταιριάζουν στήν πεπιεσμένη φώνηση. Ἐπειδὴ ἡ βεβαιωμένη φώνηση σχετίζεται μέ ὑψηλὴ θέση λάρυγγα, ὅπως συνήθως συμβαίνει στοὺς ψάλτες, οἱ ὁποῖοι δέν γνωρίζουν τόν ὀπερατικό τρόπο τῆς καθόδου τοῦ λάρυγγα, συμπεραίνεται ὅτι οἱ ψάλτες συνήθως ψάλλουν μέ πεπιεσμένη φώνηση στίς ὑψηλές νότες. Στό γλωττιδόγραμμα, ἐκεῖνο τό χαρακτηριστικό πού ἐνισχύει τίς ὑψηλές ἁρμονικές, εἶναι ὁ ρυθμός προσέγγισης τῆς γλωττίδος, ὁ ὁποῖος ἐκφράζεται στό φᾶσμα ἀπὸ τήν ἐλάττωση τῆς κλίσης του καί στό γλωττιδικό παλμό ἀπὸ τήν αὔξησιν τῆς κλίσης τῆς καμπύλης του στήν φάση προσέγγισης.

δ) Φαίνεται ὅτι, ἀπὸ πεῖρα καί μακροχρόνια συνήθεια, οἱ ψάλτες ἀποκοτῶν τόν ἔλεγχο τῆς φωνῆς τοὺς μέσω τῶν λαρυγγικῶν μυῶν, τείνοντάς τοὺς περισσότερο καί αὐξάνοντας τήν ὑπογλωττιδική πίεση. Στὴ μιὰ περίπτωση κλείνουν πολὺ τήν γλωττίδα μέ ἀποτέλεσμα τήν πεπιεσμένη φώνηση, ἐνῶ στήν ἄλλη περίπτωση τό κλείσιμο τῆς γλωττίδος εἶναι κανονικό, μέ ἀποτέλεσμα τήν φώνηση ροῆς. Αὐτός ὁ ἔλεγχος τῆς φωνῆς ἐπιτυγχάνεται προφανῶς μέ ἀνατροφοδότηση ἀπὸ τήν ἀκοή τοῦ ψάλτη, ὁ ὁποῖος προσπαθεῖ νά δημιουργήσει ἓνα ἠχόχρωμα σάν αὐτό πού ἔχει ἀκούσει ἀπὸ τόν δάσκαλό του.

ε) Πιθανότατα ἡ σωστὴ χρῆση τῆς ρινικῆς κοιλότητας καί εἰδικότερα ἡ σωστὴ διασύνδεσή της μέ τήν στοματικὴ κοιλότητα κατὰ τήν ψαλμωδία μπορεῖ νά δημιουργήσει ἓνα «πλουσιότερο» σέ ἁρμονικές φᾶσμα καί ἓνα πιό «γεμᾶτο» ἠχόχρωμα λόγω τῆς διεύρυνσης τῶν εὐρῶν ζώνης τῶν ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν. Συγκεκριμένοι λόγοι μουσικῆς φωνητικῆς εὐλυγισίας ἀπαιτοῦν τήν ἰδιαίτερη χρῆση τοῦ ρινοφάρυγγα κατὰ σαφῶς διάφορο τρόπο ἀπὸ ἐκεῖνο τῶν ὀπερατικῶν τραγουδιστῶν. Ἡ διασύνδεση τῆς ρινικῆς κοιλότητας διαμορφώνει ἔτσι στό ψαλτικό μῶρφωμα, συνήθως, δύο εὐρεῖς κορυφές ἀντὶ μιᾶς, ὅπως στήν ὄπερα. Ἡ κακὴ χρῆση, ὅμως, τῆς ρινικῆς κοιλότητας προκαλεῖ ἀπώλειες τῆς ἐνέργειας συγκεκριμένων ἁρμονικῶν τοῦ φάσματος καί ἐπομένως μπορεῖ νά ὀδηγήσει σέ κακὴ ρινοφωνία.

Συνοψίζοντας, τό ψαλτικὸ μῶρφωμα ὀφείλεται: ἀφενὸς μὲν στήν προσέγγιση τῶν φωνοσυντονισμῶν F3 καί F4, στήν ἐνίσχυσή τοὺς καί στήν κάθοδό τοὺς πρὸς τίς χαμηλές συχνότητες, καί ἀφετέρου στὸν τρόπο φώνησης τοῦ ψάλτη, ὁ ὁποῖος συχνά ἀνήκει στήν πεπιεσμένη φώνηση. Σημαντικὸ ρόλο στήν διαμόρφωση τοῦ ψαλτικοῦ μορφώματος παίζει καί ἡ κατάλληλη διασύνδεση τῆς ρινικῆς κοιλότητας.

8.1.2 Τό ψαλτικό ήχόχρωμα

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό της ψαλτικής φωνής είναι το ήχόχρωμά της, το οποίο εν μέρει καθορίζεται από τη μορφή του ψαλτικού μορφώματος, δηλαδή τούς υψηλούς φωνοσυντονισμούς αλλά και από τούς υπόλοιπους φωνοσυντονισμούς καθώς και από την πηγαία φωνή, που παράγεται στον λάρυγγα.

Μία χρήσιμη παρατήρηση εδώ αφορά την επίδραση στο φωνητικό ήχόχρωμα των δύο πρώτων φωνοσυντονισμών F1 και F2. Συγκεκριμένα, οι θέσεις των συχνοτήτων τους, σε άλλα ψαλτικά ήχοακούσματα ήταν υψηλά, κάνοντας την φωνή πιο πρίμα ενώ σε άλλα ήταν χαμηλά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στους γνωστούς παράγοντες, κάθοδο σιαγόνας - σχήμα γλώσσας αλλά, πιθανόν, και σε ιδιαίτερη ανατομική κατασκευή. Οι χαμηλοί φωνοσυντονισμοί δεν θεωρήθηκαν σημαντικοί παράγοντες για το ψαλτικό ήχόχρωμα επειδή συμμετέχουν και στην όμιλία, και επομένως δεν αποτελούν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ψαλτικής φωνής, το οποίο να προήλθε μετά από ειδική καλλιέργειά της.

Στόν βαθμό που το ψαλτικό ήχόχρωμα εξαρτάται από το ψαλτικό μόρφωμα, διέκρινα κάποιες εμφανείς ομαδοποιήσεις ήχοχρωμάτων, οργανώνοντάς τις σε κατηγορίες. Τα όμοια μεταξύ τους ήχοχρώματα, τα οποία ελέχθηκαν μόνο με την προσωπική μας μουσική αντίληψη, λόγω της μακροχρόνιας ένασχολησής μας με αυτά, παρουσίαζαν περίπου το ίδιο ψαλτικό μόρφωμα σε αρκετές περιπτώσεις, χωρίς βέβαια να αποκλείονται και οι εξαιρέσεις, όπου δεν υπήρχαν φανερά κοινά σημεία μεταξύ τους. Θα ήταν δυνατόν, βέβαια, να γίνει ψυχοακουστικός έλεγχος αυτών των κατηγοριών ήχοχρωμάτων με την βοήθεια επιτροπής μουσικοδιδασκάλων, όμως αυτός ο έλεγχος, όταν γίνεται με στατιστικούς μέσους όρους, μόνο χονδρικές διαφορές και ομοιότητες μπορεί να ανακαλύψει.

Στην προσπάθεια να προσδιορισθεί σαφώς ποιά περιοχή του φάσματος προκαλεί την Α ή Β αλλοίωση του ήχοχρώματος, βρέθηκε, με *ισοστάθμιση* (*equalization*) του φάσματος, ότι τουλάχιστον η άκοή του συγγραφέα μπορούσε να αντιληφθεί την ύπαρξη κάποιου ήχοχρώματος στο *ισοσταθμισμένο* φάσμα, ακόμα και για μεταβολές στην στάθμη ήχου περίπου 1dB. Αν υποθέσουμε ότι και σε άλλες ακοές υπάρχει τέτοια ευαισθησία τότε αυτό σημαίνει ότι είναι δύσκολο, από την άποψη της αντίληψης, να ποσοτικοποιηθούν κάποιες διαφορές στα ήχοχρώματα, αν σκεφθεί κανείς ότι η κατώτατη στάθμη ήχου θεωρήθηκε η στάθμη ισχύος των -70dB.

Γενικά λέγοντας, οι ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου στύλ - ύφους, το οποίο χρησιμοποιείται από τον ψάλτη, επιρρεάζουν καθοριστικά το ήχόχρωμα. Αυτές οι ιδιαιτερότητες χρειάζονται αναλυτική έρευνα, προκειμένου να αποκαλυφθούν και να μελετηθούν. Στην έρευνα αυτή αποφεύχθηκε η μελέτη της άμεσης επίδρασης αυτών των ιδιαιτεροτήτων εξετάζοντας μόνο σταθερές νότες της μεσαίας φωνητικής περιοχής.

Συνοψίζοντας, για το ήχόχρωμα της ψαλτικής φωνής, θα μπορούσαμε να πούμε με βεβαιότητα ότι:

α) το ψαλτικό ήχόχρωμα σαφώς διαφέρει από την όμιλία, για τον ίδιο ψάλτη, αν δεχθούμε τον μέσο όρο ασφαλή ένδειξη, τόσο στην προφορά των φωνηέντων όσο και στο ψαλτικό μόρφωμα,

β) το ψαλτικό ήχόχρωμα εξαρτάται από τα φωνήεντα και είναι πιο «όξύ» για το /I/ φωνήεν ενώ γίνεται πιο «βαρύ» κατά σειρά των φωνηέντων: /I, ε, α, ο, U/,

γ) τό ψαλτικό ήχόχρωμα σαφώς διαφέρει από τό αντίστοιχο τῶν ὀπερατικῶν φωνῶν, ὡς πρὸς τὴν ἀντιληπτικὴ διεύθυνση «λεῖο - τραχύ», μέ τάση πρὸς τό «τραχύ» τῶν τελευταίων, καί

δ) τό ψαλτικό ήχόχρωμα δέν εἶναι τόσο ὁμοιογενές ὅσο τό ὀπερατικό ήχόχρωμα.

8.2 Ψαλτικά χαρακτηριστικά καί ἀντίληψη

Συγκρίνοντας τά φασματικά χαρακτηριστικά τῶν ἀντιληπτικῶν τρόπων τῶν Colton & Estill μέ τά φασματικά δεδομένα αὐτῆς τῆς ἐργασίας, μποροῦμε νά συμπεράνουμε τά ἑξῆς:

1) Λόγω τῆς συγκέντρωσης τῆς φασματικῆς ἐνέργειας στὶς δύο περιοχές 0-2kHz καί 2-3kHz στὸν τρόπο τοῦ twang ἀλλὰ καί στο τυπικὸ ψαλτικὸ φᾶσμα, εἶναι ἐμφανὴς ἡ ὁμοιότητα τῶν δύο ήχοχρωμάτων. Ὅμως τό ψαλτικὸ ήχόχρωμα εἶναι πιό λεῖο καί ὁμαλό ἐξ αἰτίας τῶν ἀσθενέστερων ὑψηλῶν φωνοσυντονισμῶν ἐναντι τοῦ twang, προσομοιάζοντας περισσότερο στὸν τρόπο τοῦ ring (κατὰ χονδρικό τρόπο), ἐπεὶδὴ ἐμφανίζει δύο κοντινὰ μεταξύ τους μέγιστα στὴν θέση τοῦ ἐνὸς μέγιστου τοῦ τρόπου ring. Ἐπίσης ἡ στάθμη ἰσχύος τοῦ μέγιστου, στὸν τρόπο τοῦ ring, εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ ὅτι στο τυπικὸ ψαλτικὸ φᾶσμα, κάνοντας πιό ὀξύ τό ήχόχρωμα τοῦ ring ἀπὸ τό ψαλτικὸ ήχόχρωμα.

2) Ἀπὸ τὴν ἀποψη τῆς φυσιολογίας, τό μεγαλύτερο μῆκος τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ εἶναι στὸν τρόπο τοῦ cry καί στὸν τρόπο τοῦ ring, λόγω τῆς καθόδου τοῦ λάρυγγα, πρᾶγμα τό ὁποῖο χαμηλώνει ὅλους τοὺς φωνοσυντονισμούς. Ἔτσι φαίνεται ὅτι, ἀπὸ τὴν ἀποψη τῶν φυσιολογικῶν χαρακτηριστικῶν, ὁ τρόπος τῆς ψαλμωδίας στηρίζεται στὴν ἐπιμήκυνση τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ, ἡ ὁποία γίνεται εἴτε μέ κάθοδο τοῦ λάρυγγα εἴτε μέ ἐπιμήκυνση τῆς στοματικῆς κοιλότητας. Γιά τοὺς παραπάνω λόγους, φυσιολογικά, ὁ τυπικὸς ψαλτικὸς τρόπος προσομοιάζει μέ τὸν τρόπο τοῦ ring καί cry. Ἐπεὶδὴ ὅμως ὑπάρχει ὁ φωνοσυντονισμὸς τοῦ τραγουδιστῆ, ὁ ὁποῖος σχετίζεται μέ τὴν τοποθέτηση τῆς φωνῆς στὴν μάσκα, δηλαδή μέ τὴν σύνδεση τοῦ φωνητικοῦ συστήματος μέ τὸν ρινοφάρυγγα, ὁ ψαλτικὸς τρόπος κυρίως προσεγγίζει τὸν τρόπο τοῦ ring.

3) Ποιὰ εἶναι ἡ σχέση μεταξύ τοῦ τυπικοῦ ψαλτικοῦ τρόπου φωνῆς καί τῶν φωνητικῶν διαγραμμάτων; Ἢδη, βάσει τῆς συχνότητας φώνησης θεωρήθηκε καί τό ἀνάλογο φωνητικὸ διάγραμμα: χαμηλὴ συχνότητα φώνησης ἀντιστοιχεῖ στο θωρακικὸ φωνητικὸ διάγραμμα ἐνῶ γιὰ ὑψηλὴ συχνότητα φώνησης χρησιμοποιεῖται τό κεφαλικὸ φωνητικὸ διάγραμμα. Τό ὄριο μεταξύ τους τίθεται περίπου στὸν μέσο Fa (175Hz), τὸν ὁποῖο συχνά χρησιμοποιοῦν οἱ ψάλτες. Δέν εἶναι εὐκόλο νά καθορίσουμε ἂν ἡ τυπικὴ ψαλτικὴ φωνὴ ἀλλάζει φωνητικὸ διάγραμμα, ἐπεὶδὴ ἀναλύθηκαν νότες τῆς μεσαίας φωνητικῆς περιοχῆς, οἱ ὁποῖες δέν καλύπτουν δύο διαφορετικὰ φωνητικὰ διαγράμματα οὔτε ἔγιναν μετρήσεις τῆς ἰσχύος τῆς θεμελιώδους συχνότητας. Μόνο μέ τὴν ἀπλὴ παρατήρηση γιὰ κάποια ψαλτικά δείγματα ὅτι ἡ ἰσχύς τῆς θεμελιώδους συχνότητας ἦταν μεγάλη, σχετιζόμενης ἄμεσα ἀπὸ τό πλάτος τοῦ γλωττιδογράμματος, μποροῦμε νά συμπεράνουμε ὅτι ἰσχυρὴ θεμελιώδης συνεπάγεται μᾶλλον κεφαλικὸ φωνητικὸ διάγραμμα. Γενικά ἡ χρῆση τῶν φωνητικῶν διαγραμμάτων δέν εἶναι συχνὴ στὴν ψαλμωδία, καθὼς ὑπάρχει ἡ αἴσθηση στὸν ἀκροατὴ ἐνὸς ὁμοιογενοῦς ήχοχρώματος τῆς ψαλμωδίας ἀπὸ τὸν ἴδιο ψάλτη. Ἔτσι, δικαιολογημένα μπορεῖ νά ἰσχυριστεῖ κάποιος ὅτι οἱ ψάλτες ἢ χρησιμοποιοῦν φώνηση ροῆς μείσχυρὴ θεμελιώδη καί κεφαλικὸ φωνητικὸ

διάγραμμα ή χρησιμοποιούν πεπιεσμένη φώνηση με ασθενέστερη θεμελιώδη, μικρή κλίση φάσματος και θωρακτικό φωνητικό διάγραμμα.

Ακόμα και ψάλτες που χρησιμοποιούν το κεφαλικό διάγραμμα μετατρέπουν τον τρόπο φωνησής τους από φώνηση ροής σε πεπιεσμένη στην προσπάθειά τους να αυξήσουν την συχνότητα φώνησης. Μόνο όσοι έχουν διδαχθεί τον όπερατικό τρόπο τραγουδιού αλλάζουν φωνητικό διάγραμμα, όπως από πείρα έχω διαπιστώσει, χωρίς βέβαια συγκεκριμένη μελέτη. Οι νότες που αναλύθηκαν δεν ανήκαν επάνω στα όρια της φωνητικής έκτασης των ψαλτών αλλά μέσα σ' αυτήν, και έτσι δεν είναι ασφαλές το άνωτέρω συμπέρασμα ως προς τα φωνητικά διαγράμματα. Επίσης, καταβλήθηκε προσπάθεια να αποφευχθεί η χρήση του τρόπου του ψεύτικου διαγράμματος κατά την επιλογή των ψαλτικών δειγμάτων, επειδή αυτός ο τρόπος μόνο φευγαλαία χρησιμοποιείται από τους ψάλτες είτε σε πολύ υψηλές νότες είτε σαν μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης.

4) Πώς σχετίζεται η ταξινόμηση των όπερατικών φωνών με την προτεινόμενη ταξινόμηση των ψαλτικών ήχοακουσμάτων; Οι Dmitriev & Kiselev, όπως και ο Cleveland, βρήκαν ότι όσοι έχουν χαμηλές φωνοσυντονιστικές συχνότητες είναι βαθύφωνοι ενώ όσοι έχουν υψηλές αντίστοιχες συχνότητες είναι οξύφωνοι, με ανάλογα ανατομικά χαρακτηριστικά. Είναι, επομένως, δυνατόν μία ψαλτική φωνή να καταταγεί σε μία κατηγορία από εκείνες των όπερατικών φωνών, με μόνο κριτήριο την φωνητική έκτασή της. Όμως, επειδή το ήχόχρωμά της πρέπει να ακούγεται σταθερό, για λατρευτικούς και καλλιτεχνικούς λόγους, δεν είναι εύκολα επιθυμητή η αλλαγή του φωνητικού διαγράμματος κατά την ψαλμώδηση. Άλλωστε, πολλών βυζαντινών μελών ή μελωδία δεν εκτείνεται πέρα από την οκτάβα και άρα μπορεί να καλυφθεί με ένα φωνητικό διάγραμμα. Αυτό που θέλω να πω είναι ότι, από έναν ψάλτη ακούμε συνήθως ένα «βασικό» ήχόχρωμα, το οποίο εμπλουτίζεται βέβαια με αποχρώσεις αλλά στην ουσία του παραμένει σταθερό. Ακριβώς αυτό το «βασικό» ήχόχρωμα προσπάθησα να καταγράψω στην παρούσα ερευνητική προσπάθεια και να το ταξινομήσω σε κατηγορίες.

5) Αυτή η ταξινόμηση έγινε με βάση ακουστικά κριτήρια και εν μέρει ψυχοακουστικά, που καταγράφουν κατά μέγα μέρος το ψαλτικό ήχόχρωμα, το οποίο οφείλεται στην συνεργασία τόσο φυσιολογικών όσο και ψυχοακουστικών παραγόντων. Ελέγχοντας την διαφορά μεταξύ όμιλίας και τυπικού ψαλτικού ήχοακούσματος, βρέθηκε μία χονδρική διαφορά: ο ΦΤ. Έτσι θεώρησα σαν κύριο υπεύθυνο της ύπαρξης αυτού του ψαλτικού ήχοχρώματος το ψαλτικό μόρφωμα, το οποίο σε διάφορες δοκιμές όταν άλλαζε σχήμα επιρρέαζε και το ήχόχρωμα. Προσδιορίστηκαν λοιπόν δύο παράμετροι για την ακουστική περιγραφή του: Η θέση του κέντρου του στό φάσμα, και το πλάτος του.

Επειδή όμως αυτές οι παράμετροι δεν διεχώριζαν κάποια ψαλτικά ήχοχρώματα, όντως διαφορετικά μεταξύ τους, δημιουργήθηκαν άλλες δύο παράμετροι: η ομοιογένεια και η τάση για συνένωση. Η μέν ομοιογένεια περιγράφει την σχετική σταθερότητα του ήχοχρώματος μεταξύ των φωνέντων, ενώ η τάση για συνένωση περιγράφει την προσέγγιση δύο φωνοσυντονισμών, περισσότερο από το αντιληπτικό όριο, και επομένως την τάση για συνένωσή τους σε μη διακρινόμενα, κατά την αντίληψη, τμήματα του φάσματος. Το φαινόμενο της ομοιογένειας χαρακτηρίζει έξασκημένες ψαλτικές φωνές ενώ αντίθετα μη έξασκημένες φωνές παρουσιάζουν συνήθως ανομοιογένεια στο ήχόχρωμα. Η τάση για συνένωση επιδρά καθοριστικά στο τελικό ήχόχρωμα, αν για κάποιο φωνήεν συμβαίνει μεταξύ των F3 και F4, ή και F5. Σε μερικά ψαλτικά ήχοακούσματα, μόνο για το φωνήεν /i/, παρατηρείται τάση για συνένωση μεταξύ των φωνοσυντονισμών F2 και F3, με

«βαρύτερη» επίδραση στο ήχοχρωμα από ότι η προηγούμενη τάση για συνένωση των υψηλών φωνοσυντονισμών.

Η ταξινόμηση των όπερατικών φωνών, λοιπόν, εφαρμοζόμενη στην περίπτωση των ψαλτικών, είναι χρήσιμη μέν για να φανερώσει τις δυνατότητες, ως προς την έκταση, μιᾶς ψαλτικής φωνῆς, ὅμως δέν δείχνει τίποτε ως προς τό ήχοχρωματικό της περιεχόμενο, πράγμα αποφασιστικῆς σημασίας για τήν καλλιέργεια καί ἐξελίξη της.

8.3 Ψαλτική φωνή καί ποιοτικά σημειογραφικά σημάδια (ἐκφραση)

Ἡ βυζαντινὴ μουσικὴ ἔχει περιγραφεῖ μέσα στοὺς αἰῶνες μέ τή βοήθεια τῆς μουσικῆς τῆς γραφῆς ἡ ὁποία περιεῖχε καί περιέχει τόσο ποσοτικά ὅσο καί ποιοτικά σημάδια. Ἀπ' αὐτά τά μέν ποσοτικά ἀπλῶς δηλώνουν τήν κίνηση τῆς συχνότητας φώνησης πού ἀντιστοιχεῖ στήν τονικότητα (pitch), τά δέ ποιοτικά φανερώνουν μιὰ ἰδιαίτερη μελωδία - χρωματισμό. Στήν παρασημαντική (σημειογραφία), μετά τήν μεταρρύθμιση τῶν τριῶν δασκάλων, ὠρισμένα ἀπό τα ποσοτικά σημάδια, ὅπως ἡ πεταστή, ἀπαιτοῦν ἰδιαίτερη μελωδία καί ὄχι ἀπλῆ ἀνάβαση μιᾶς βαθμίδας στήν μουσικὴ κλίμακα, πού χρησιμοποιεῖ τό συγκεκριμένο μουσικὸ μέλος. Παρ' ὅλο πού ἔχουν γραφεῖ διάφορες μουσικὲς γραμμὲς σάν πιθανές ἀποδόσεις τοῦ σημαδιοῦ αὐτοῦ, δηλαδή τῆς πεταστῆς, δέν ἀκούγονται ἱκανοποιητικὰ οἱ ἀντίστοιχες ἐκτελέσεις ἐνῶ ἡ μελικὴ κίνηση τῆς ἀπόδοσης τηρεῖται πιστά. Αὐτό σημαίνει ὅτι κατὰ τήν ἐρμηνεία τοῦ σημαδιοῦ δέν ἐφαρμόζεται τό κατάλληλο ήχοχρωμα, τό ὁποῖο δημιουργεῖ εὐήχο ἀκουσμα. Μόνο σάν προοπτικὴ μπορούμε νά τό ἐξετάσουμε ἐπειδὴ αὐτό καθ' ἑαυτό τό ἀντικείμενο ἔχει ἄμεση σχέση καί μέ τήν ἐννοια τῆς Τέχνης γενικότερα.

Κάποιες κατηγορίες ήχοχρωμάτων δίνουν τήν ἐντύπωση τῆς ἐλαφρότητας ἐνῶ ἄλλα ἀκούγονται βαρύτερα. Ἔτσι νότες, οἱ ὁποῖες ψάλλονται μέ ταχύτητα, ἀν περιέχουν ἐλαφρὺ ήχοχρωμα δίνουν τήν ἐντύπωση ὅτι εἶναι «ἀδύναμες» καί χωρίς ζωντάνια. Βρίσκοντας τόν τρόπο τῆς τοποθέτησης (δηλ. τόν σχηματισμό τοῦ φωνητικοῦ ὄργανου συνολικά) τῆς φωνῆς ὥστε νά ἐπιτευχθεῖ ἓνα βαρύτερο ήχοχρωμα, αὐτές οἱ νότες θά γίνουν ζωηρότερες. Για νά γίνει αὐτό, πρέπει νά ὑπάρξει παράλληλη μέ τήν παροῦσα ἐργασία, ἐρευνα τῆς λειτουργίας τῶν ἀρθρωτικῶν καί γλωττιδικῶν παραγόντων οἱ ὁποῖοι συνεργαζόμενοι παράγουν τοῦτο ἢ τό ἄλλο ψαλτικὸ ήχοχρωμα. Δέν πρέπει νά ἐφαρμοσθοῦν τεχνικὲς καλλιέργειας τῶν ὀπερατικῶν φωνῶν, γιατί, ὅπως ἤδη ἀναφέραμε, ὑπάρχουν οὐσιαστικὲς διαφορὲς μεταξύ ψαλτικῶν καί ὀπερατικῶν ήχοχρωμάτων.

Ἐπὶ πλέον, μιὰ καταγραφή τῶν λαρυγγισμῶν, οἱ ὁποῖοι εἶναι σύντομες μελωδίες, μὴ προσδιορισμένες σαφῶς, ὡς πρὸς τήν μουσικὴ τους γραμμὴ καί, πολὺ περισσότερο, μέ ποιὰ ἄρθρωση (articulation) πραγματοποιοῦνται, θά ἀνοιγε τόν δρόμο γιὰ μιὰ μεγαλύτερη κατανόηση τῆς ψαλτικῆς φωνῆς καί αὐτοῦ ἀκόμα τοῦ στύλ πού χρησιμοποιεῖ.

Λέγοντας στύλ ἢ ὕφος, ὅπως λέγεται στήν βυζαντινὴ μουσικὴ ὁρολογία καί ἤδη περιγράψαμε, ἐννοοῦμε περίπου τό «βασικὸ» ήχοχρωμα τῆς φωνῆς, πού χρησιμοποιεῖ ὁ ψάλτης σάν χρωματικὸ ὑπόβαθρο τῆς ψαλμωδίας ἀλλὰ καί ἄλλα χαρακτηριστικὰ τά ὁποῖα χρειάζονται ἀναλυτικὴ μελέτη καί ἐρευνα. Μιὰ τέτοια ἐρευνητικὴ προσπάθεια θά ἐμπλουτίσει τήν βυζαντινὴ μουσικὴ καί μέ νέα ψαλτικὰ ήχοακούσματα καί πιθανόν νά ὀδηγήσει καί στήν σύνθεση τεχνητῶν ψαλτικῶν φωνῶν, μέ τήν

βοήθεια της Πληροφορικής. Ουσιαστική βοήθεια θά πρόσφερε στην πιθανή αναπαραγωγή μελωδιών από παλαιούς Βυζαντινούς μουσικούς κώδικες, παρέχοντας τά ακουστικά χαρακτηριστικά τά απαραίτητα για την έπιτυχή έρμηνεία τών ποιοτικών σημαδιών, δίνοντας νέα ώθηση στην μουσικολογική έρευνα.

Ακόμη, πηγαίνοντας χρονικά προς τά πίσω, ίσως αποδεικνυόταν ένας δρόμος προς την καλύτερη κατανόηση της αρχαίας ελληνικής μουσικής.

Τέλος, ή δυνατότητα αλλοίωσης κατά βούλησιν του φωνητικού ήχοχρώματος από τόν ψάλτη ως καλλιτέχνη μπορεί νά αποτελέσει σημαντικό παράγοντα μουσικής έκφρασης για την έπιτυχέστερη απόδοση τών νοημάτων του ποιητικού κειμένου. Σημειωτέον ότι ή βελτίωση της φωνητικής τεχνικής μπορεί νά έπιρρεάσει γενικότερα την Έλληνική παραδοσιακή μουσική καί όχι μόνο την εκκλησιαστική μουσική όπου τό στυλιζάρισμα υποχρεώνει τόν ψάλτη σέ ιεροπρεπή έκφραση.

8.4 Είμαι ή ψαλτική φωνή έρρινη;

Ήδη αναφέρθηκε ότι τό χαρακτηριστικό της τυπικής ψαλτικής φωνής είμαι τό ψαλτικό μόρφωμα καί ότι αντιστοιχεί ή ύπαρξή του στην «κεφαλική άντήχηση». Αυτό συνεπάγεται την διασύνδεση του ρινοφάρυγγα στο φωνητικό σύστημα. Έπομένως είμαι σαφές ότι ή χρήση της ρινικής κοιλότητας είμαι όχι μόνο μή αποφευκταία αλλά καί άκρως απαραίτητη, για νά ύπάρχει ή αίσθηση της οξύτητας καί μεταλλικότητας της φωνής, δηλαδή τό ψαλτικό μόρφωμα. Άλλωστε αυτό είμαι ουσιώδες χαρακτηριστικό καί της όπερατικής φωνής.

Τί έννοούμε όμως λέγοντας έρρινη φωνή; Ό όρισμός της έρρινης φωνής είμαι κατά βάσιν άντιληπτικός: έπειδή έτσι την άντιλαμβανόμαστε. Είδαμε ότι είμαι δύσκολο νά καθορισθεϊ αυτός μέ ακουστικούς όρους έπειδή ή συνάρτηση μεταφοράς της ρινικής κοιλότητας δέν είμαι μονοσήμαντα καθορισμένη. Είμαι γνωστό ότι ή χρήση, κατά την φώνηση, της ρινικής κοιλότητας εισάγει μηδενικά στο φάσμα όποτε έξασθενούν κάποιες αρμονικές ένω ένισχύονται κάποιες άλλες γύρω από κάθε φωνοσυντονισμό, άφου διευρύνεται τό εύρος ζώνης του.

Ανατομικές ιδιαιτερότητες της ρινικής κοιλότητας παίζουν σημαντικό ρόλο στην «έκπομπή» προς τά έξω, τών περισσοτέρων αρμονικών του φάσματος. Υπάρχει βέβαια ή δυνατότητα του ψάλτη νά ρυθμίσει τόν βαθμό διασύνδεσης της ρινικής κοιλότητας, μέχρι τόν πλήρη αποκλεισμό της, περιορίζοντας την έξασθένηση αυτών τών αρμονικών, όμως αυτό θά έχει σαν συνέπεια την αλλαγή του ήχοχρώματος. Έκείνο πού θέλω νά πω είμαι ότι ύπάρχουν αρκετές δυνατότητες νά βελτιώσει ένας ψάλτης τό ήχόχρωμα της φωνής του ώστε αυτή νά μήν ακούγεται έρρινη.

Όμως δέν έχει άπαντηθεϊ τό βασικό έρώτημα ακόμη. Από τά φάσματα, τά όποια μελετήθηκαν, παρατηρήθηκε πράγματι μιά έντονη έρρινοποίηση σέ μερικές ψαλτικές φωνές αλλά αυτό δέν ήταν ό κανόνας. Σέ γνωστούς πρωτοψάλτες φημιζόμενους για την ωραία φωνή τους, παρόλο πού ψάλλουν μέ άντήχηση στην μάσκα δέν ακούγεται ένοχλητικά έρρινη ή φωνή τους. Υπάρχει έδω μιά μεγάλη σχέση μεταξύ ακοής καί μουσικής μνήμης, ή όποία διαμορφώνει την αίσθητική άντιληψη του άκροατή. Ένας δάσκαλος όπερατικών φωνών, συνηθισμένος στα όπερατικά ήχοχρώματα (μουσική μνήμη) άν ακούσει (άκοή) ένα ψαλτικό ήχόχρωμα, προερχόμενο από φημισμένο πρωτοψάλτη, πιθανώς θά του δημιουργήσει την άντιληψη της έρρινης φωνής, κάτι πού σίγουρα δέν ένοχλεϊ τόσοι άκροατές, έφόσον ό πρωτοψάλτης είμαι φημισμένος. Φαίνεται, λοιπόν, ότι δέν ύπάρχει

άσφαλης έπιστημονική απάντηση γιά αυτό τό όποιο οι άκροατές αντιλαμβάνονται σάν έρρινη φωνή.

Ύπάρχουν βέβαια και οι παθολογικές περιπτώσεις, όπου κάποιος έχει μιά σκολίωση διαφράγματος ή, γενικά, κάποια ανατομική άνωμαλία, και γι' αυτό ακούγεται έρρινη ή φωνή του, ή όποια διαπιστώνεται όμως ιατρικά. Συνοψίζοντας, τό έρώτημα φαίνεται κυρίως αντιληπτικό και ίσως μέ κάποια ψυχοακουστικά πειράματα θά μπορούσε νά δοθεῖ μιά απάντηση, ό, τι άφορᾷ όμως τήν ψαλτική τέχνη, μάλλον είναι έσωτερική της υπόθεση νά καθορίσει τήν υπερβολική ρινικοποίηση τών φωνητικών της ήχων.

8.5 Πιθανή καλλιέργεια τής ψαλτικής φωνής

Και έρχομαι στό τελευταίο θέμα τών συμπερασμάτων και προοπτικών αυτής τής έρευνητικής εργασίας, τό όποιο είναι ή καλλιέργεια τής ψαλτικής φωνής, ή όποια διαφέρει ουσιαστικά από φωνές άλλων μουσικών ειδών κατά τό ήχόχρωμα. Προφανώς, άσφαλης οδηγός γιά τήν εξάσκηση μιάς φωνής προκειμένου νά αποκτήσει ένα αποδεκτό ήχόχρωμα, είναι αυτή καθ' έαυτή ή ψαλτική μουσική παράδοση.

Οι αναλύσεις μας πάνω σέ ψαλτικές παραδοσιακές φωνές μᾶς έχουν οδηγήσει σέ συγκεκριμένα άκουστικά χαρακτηριστικά του «βασικού» ψαλτικού ήχοχρώματος, και αυτά είναι:

α) Ή ύπαρξη του ψαλτικού μορφώματος,

β) Ή όμοιογένεια του ήχοχρώματος σέ όλα τά φωνήεντα και βέβαια σέ όλη τήν έκταση τής φωνής, και

γ) Ή δυνατότητα αλλοίωσης του ήχοχρώματος (γιά καλύτερη έκφραση) μέ μετακίνηση τών φωνοσυντονισμών, χωρίς τήν απώλεια τών (α) και (β) χαρακτηριστικών.

Μιά «μουντή» μπάσσα ψαλτική φωνή δέν έχει όμορφιά αλλά ούτε και διαπεραστικότητα μέσα σέ κλειστό χῶρο μέ αντικείμενα, δηλαδή σέ χῶρο μέ μεγάλη ήχοαπορρόφηση. Έτσι είναι απαραίτητη ή παρουσία ενός ψαλτικού μορφώματος. Αυτό μπορεί νά δημιουργηθεῖ σιγά σιγά εάν προσπαθήσει ό ψάλτης νά έλέγξει τίς φωνητικές του χορδές, πράγμα τελείως απαραίτητο γιά έναν επαγγελματία τραγουδιστή.

Όμως τί σημαίνει έλεγχος τών φωνητικών χορδών; Ή δυνατότητα του ψάλτη νά ψάλλει μιά νότα αξιοσημείωτα σταθερής συχνότητας είναι άκριβώς ό έλεγχος τών φωνητικών χορδών, δηλαδή ή ικανότητα του ψάλτη νά μπορεί νά άπαγγέλλει μέ ακρίβεια τόν φθόγγο πού έπιθυμεί (τονικά και χρωματικά). Πώς μπορεί νά γίνει αυτό; Ή απάντηση δέν είναι μόνο μιά αλλά πολλές. Έδω θά χρησιμοποιήσω τήν προσωπική μου έμπειρία γιά νά απαντήσω. "Όταν ό ψάλτης αναπτύξει τήν λειτουργία τών μυών (π.χ. στερνοθυροειδεῖς), οι όποιοι χαμηλώνουν τόν λάρυγγα, τότε έχει δημιουργήσει έναν μηχανισμό, πού αντίστέκεται στήν φυσική τάση πού έχει ό λάρυγγας νά ανεβαίνει καθώς ανεβαίνει ή συχνότητα φώνησης. Κατ' αυτό τόν τρόπο μαθαίνει νά κρατᾷ τήν αναγκαία ισορροπία τών ανταγωνιζόμενων μυών και έπομένως νά έχει τόν έλεγχο τής φωνής. Μέ τήν πάροδο του χρόνου αναπτύσσει και τό ψαλτικό μόρφωμα πού κάνει όξεία τήν φωνή.

Ή εκμάθηση τής κατάλληλης διασύνδεσης ρινικής και στοματοφαρυγγικής κοιλότητας βοηθάει πρὸς αυτήν τήν κατεύθυνση. Έδω πρέπει νά σημειώσουμε και τήν εξάσκηση του αναπνευστικού συστήματος, γιά νά μπορεί νά έκτοξεύει μέ κανονική όρμή τόν άέρα πρὸς τήν γλωττιδική σχισμή, δημιουργώντας έτσι κανονική

υπογλωττιδική πίεση ή όποία, συνδυαζόμενη μέ κατάλληλα άνοιγμένη γλωττίδα, έπιτυγχάνει ύψηλή στάθμη ήχου.

Μετά τόν έλεγχο τής φωνής χρειάζεται ή ανάπτυξη του μηχανισμού αλλοίωσης του ήχοχρώματος, ό όποϊος περιλαμβάνει διαφόρους παράγοντες:

- α) τόν μηχανισμό καθόδου του λάρυγγα,
- β) τήν μεταβολή του σχήματος τής στοματικής κοιλότητας, και
- γ) τήν διασύνδεση τής ρινικής κοιλότητας μέ τό υπόλοιπο φωνητικό όργανο.

Αυτούς τούς παράγοντες μαθαίνει νά τούς χρησιμοποιεϊ ό ψάλτης προσαρμοσμένα στο δικό του φωνητικό όργανο και βελτιώνοντας αναδραστικά τό έπιδιωκόμενο ήχώχρωμα σέ σχέση, ίσως, μέ τό ιδανικό του. Δέν νομίζω ότι χρειάζεται ιδιαίτερη έπιχειρηματολογία γιά νά αποδειχθεϊ ότι πάντοτε ένας νέος καλλιτέχνης προσπαθεϊ νά μιμηθεϊ αυτή τήν φωνή πού του άρέσει. Έδω όμως προκύπτει ένα βασικό έρώτημα: άραγε μπορεϊ ό καθένας νά μιμηθεϊ τήν φωνή του όποιουδήποτε ψάλτη; Άκριβώς αυτό τό σημείο έρχεται νά διαλευκάνει αυτή ή μελέτη.

Όπως είδαμε οϊ ψαλτικές φωνές δέν είναι μεταξύ τους ίδιες αλλά διαίρουονται σέ κατηγορίες, οϊ όποϊες, κατά πᾶσα πιθανότητα, υποδηλώνουν φωνητικούς τύπους διαφορετικούς μεταξύ τους κατά τόν τρόπο παραγωγής του ήχοχρώματος. Έτσι είναι μάλλον άπίθανο ένας υποψήφιος ψάλτης, ό όποϊος έμφανίζει χαρακτηριστικά πού ανήκουν στον τύπο Ε, νά καταφέρει νά διαμορφώσει ένα τύπο φωνής Α, λόγω των διαφορετικών ανατομικών χαρακτηριστικών τά όποϊα υποδηλώνουν. Πιθανότατα, χωρίς νά έχουμε κάνει ειδική έρευνα, ό πρώτος έχει μακρύ λαιμό και ίσως λεπτές φωνητικές χορδές ενώ ό δεύτερος έχει κοντό λαιμό και παχεϊς φωνητικές χορδές.

Θά είχε μεγάλο ενδιαφέρον, πράγματι, μιά τέτοια μελέτη ανατομικών χαρακτηριστικών και ψαλτικών φωνητικών τύπων. Εύτυχως ή πλουσιότατη βυζαντινή φωνητική μουσική παράδοση περιέχει άρκετούς τέτοιους τύπους, από τούς όποϊους μπορεϊ νά διαλέξει ό μαθητής μέ τήν βοήθεια του δασκάλου του, τόν καταλληλότερο φωνητικό τύπο γιά τήν ανάπτυξη τής φωνής του ως ψαλτικής. Τί σημαίνει αυτό; Μήπως, ότι απλώς αναπαράγουμε τά ψαλτικά ήχοχρώματα;

Η βέβαιη απάντηση είναι ότι μ' αυτόν τόν τρόπο διατηρούμε τήν ψαλτική παράδοση αλλά και τήν αναπτύσσουμε περαιτέρω, αφού γνωρίζουμε ότι έν τέλει ό ψάλτης, αν έχει ταλέντο, θά βρεϊ τόν προσωπικό του καλλιτεχνικό δρόμο μέσα στο συνολικό ύφος τής ιεροψαλτικής μας παράδοσης.

Προσωπική μου άποψη είναι ότι τά επί μέρους στυλ δέν καταστρέφονται μέ τόν θάνατο των δημιουργών τους αλλά κυκλοφορουν διά μέσου τής μουσικής παράδοσης υπό μορφή στοιχείων, τά όποϊα ανασυντίθεται από τόν ήγεμόνα νου του ταλαντούχου νέου ψάλτη σέ ένα νέο ύφος, προστιθέμενων ίσως και νέων στοιχείων. Είναι όμως ζητούμενο νά βρεθούν αυτά τά στοιχεία και νά ανασυντεθούν κατά ένα καινούριο τρόπο σχηματίζοντας ένα νέο ύφος - στυλ ψαλτικής τέχνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΜΕΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

9.1 *Επιλογος*

Τό θέμα τῆς ἔρευνας καί μελέτης τῆς ψαλτικῆς φωνῆς εἶναι τεράστιο. Ἦδη προ-σπαθήσαμε νά ἀσχοληθοῦμε μαζί του καί τό μόνο πού κάναμε ἦταν ἀπλῶς νά τό ἀ-νοίξουμε. Εἶδαμε ὅτι ἀγγίζει πολλά ἐπιστημονικά πεδία ταυτόχρονα. Ἔτσι θέματα ἀκουστικῆς γιά τήν διάδοση τοῦ ἤχου, θέματα ἀνατομίας γιά τήν δομή τοῦ ἀν-θρώπινου φωνητικοῦ ὀργάνου, θέματα φυσιολογίας γιά τήν λειτουργία του, θέμα-τα ἀντίληψης τοῦ ἤχου, θέματα μουσικολογικά, ἀκόμα καί θέματα θεολογικά χρειάζεται νά ἀντιμετωπισθοῦν προκειμένου νά μελετηθεῖ σφαιρικά.

Τό σημαντικότερο ἐπιστημονικό πεδίο ὅμως ἦταν αὐτό τῆς πληροφορικῆς καί εἰδικότερα τῆς ἐπεξεργασίας σήματος τό ὁποῖο μᾶς παρεῖχε τά ἐργαλεῖα τῆς φασματικῆς ἀνάλυσης μέ τά ὁποῖα ἐρευνήθηκαν χαρακτηριστικά τῶν φασμάτων τῶν ψαλτικῶν φωνῶν. Τά συμπεράσματα τοῦ κεφαλαίου 8 βασίζονται εἴτε σέ ἄμεσα μετρήσιμα δεδομένα (φωνοσυντονισμοί) εἴτε σέ ἔμμεσα μή μετρήσιμα πού προέκυψαν βάσει συλλογισμῶν χρησιμοποιώντας γνώση καί ἀπό ἄλλα ἐπιστημο-νικά πεδία. Αὐτά τά ἔμμεσα συμπεράσματα χρειάζονται ἐπί πλέον ἔρευνα γιά νά ἐ-παληθευθοῦν καί ἐπιβεβαιωθοῦν.

Δόθηκε ὅλο τό περίγραμμα τῶν συναφῶν θεμάτων τῆς ψαλτικῆς φωνῆς ὅπως : ἀ-νατομία, φυσιολογία, ἀκουστική, ἀντίληψη, καί μουσικολογία, καί περιγράφηκαν οἱ βασικές μέθοδοι φασματικῆς ἀνάλυσης ψηφιακοῦ σήματος μαζί μέ τήν καταλληλότερη ἐπιλογή τῶν παραμέτρων ἀνάλυσης.

Παρουσιάσθηκαν οἱ σημαντικότερες διαφορές μεταξύ τῶν φασμάτων τῆς ὁμιλού-σας καί τῆς ψαλτικῆς φωνῆς, ὅπως ἐπίσης καί μεταξύ τῆς ψαλτικῆς καί τῆς ὀπερα-τικῆς φωνῆς καί δόθηκαν πιθανές ἐρμηνεῖες ὡς πρός τήν ἄρθρωση τῶν μερῶν τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ.

Μιά πρωτόγνωρη πρόταση ἐγίνε γιά τήν ταξινόμηση τῶν ψαλτικῶν φωνῶν, μέ βάση τό ἡχόχρωμά τους, τό ὁποῖο, κυρίως, ὀφείλεται στήν θέση καί ἰσχύ τῶν φωνοσυντονισμῶν μέσα στό φᾶσμα. Δόθηκαν δύο νέοι ὅροι γιά τήν ταξινόμηση, τῆς ὁμοιογένειας καί τῆς τάσης γιά συνένωση καθῶς καί οἱ ἐννοιες τῶν σταθερῶν καί ἀσταθῶν ψαλτικῶν φωνῶν.

Πολλές προοπτικές ἀνοίγονται μετά ἀπ' αὐτήν τήν ἔρευνα ὅπως :

Ἡ κατάλληλη προσαρμογή τῆς φωνῆς κατά τήν ἐκπαίδευση τῶν ὑποψηφίων ἱ-εροψαλτῶν, ἡ καλύτερη «συναρμογή» τῶν φωνῶν ὅταν αὐτές ἀκούγονται μαζί, ἡ ἡ καταλληλότερη μουσική ἔκφραση συνδυάζοντας τά ψαλτικά ἡχοχρώματα σέ ἕνα μεγάλο χορωδιακό μουσικό ἔργο.

Ἡ κατανόηση τῶν τρόπων ἐναλλαγῆς τῆς ἀτομικῆς φωνητικῆς ποιότητος ἀνά-λογα μέ τήν χρήση τῶν ἄρθρωτῶν μερῶν τῆς φωνητικῆς ὁδοῦ καί τῆς καθόδου τοῦ λάρυγγα μπορεῖ νά ὀδηγήσει σέ μεγαλύτερη ποικιλία ἐκφραστικῶν - ἡχοχρωματικῶν μέσων καί ἐπομένως σέ ἀρτιότερη ἀτομική καλλιτεχνική ἔκφραση.

Ἡ κατανόηση, περαιτέρω, τοῦ ὅφους τῆς ψαλτικῆς φωνῆς μέ τήν ἀνακάλυψη καί ἄλλων παραμέτρων πέρα ἀπό τό ἡχόχρωμα.

Ἡ σύγκρισή του μέ ἄλλα στυλ τραγουδιοῦ καί ἡ εὕρεση οὐσιαστικῶν διαφορῶν ὡς πρός τά θέματα πού ἀναφέρθηκαν πιο πάνω.

Ἡ κατανόηση τῆς λειτουργίας τῆς τραγουδιστικῆς φωνῆς γενικότερα μέ σκοπό τήν τεχνητή σύνθεση φωνῆς.

Ἡ ἀνακάλυψη ἀποδοτικότερων τρόπων στήν μελωδική ἐκτέλεση καθώς καί ἡ σχέση ὠρισμένων δυσφωνιῶν μέ τό ἡχόχρωμα τῆς φωνῆς.

9.2 Μελλοντικές ἐργασίες

Μιά πληθώρα ἐργασιῶν θά μπορούσαν νά ἐκτελεστοῦν πρός τήν κατεύθυνση τῆς κατανόησης τῆς ψαλτικῆς φωνῆς.

Μιά πρώτη ἐργασία πού θά μπορούσε νά γίνει εἶναι ἡ σύγκριση τῆς ψαλτικῆς φωνῆς μέ τήν φωνή τῶν λαϊκῶν τραγουδιστῶν ἢ τῶν τραγουδιστῶν τοῦ δημοτικοῦ τραγουδιοῦ καί νά βρεθοῦν διαφορές καί ὁμοιότητες μεταξύ τους. Εἶναι σημαντικό νά ὀριοθετηθεῖ ἡ ψαλτική φωνή ὡς πρός τά ἄλλα στυλ τραγουδιοῦ στόν Ἑλλαδικό χῶρο.

Πρός τήν κατεύθυνση τῆς πληρέστερης κατανόησης τοῦ ψαλτικοῦ στυλ - ὅφους προτείνουμε τήν μελέτη τῶν σύντομων μελωδιῶν σέ σχέση μέ τό ἡχόχρωμα τῆς φωνῆς δηλαδή τήν φωνητική κατηγορία τῆς σύμφωνα μέ τήν παρούσα διατριβή. Οἱ μικρομελωδίες πού ἐκτελοῦνται μέ μορφή λαρυγγισμῶν δέν ἀκολουθοῦν τήν πορεία τῶν σταθερῶν νοτῶν ὡς πρός τήν φωνητική ποιότητα ἀλλά διαφορετική.

Φυσικά, θά πρέπει νά ἐπιβεβαιωθοῦν κάποιες ὑποθέσεις - συμπεράσματα πού διατυπώθηκαν σ' αὐτή τήν ἐργασία. Ἡ σημαντικότερη σχέση εἶναι αὐτή μεταξύ τῆς ἄρθρωσης καί τοῦ ἡχοχρώματος, ὅπου μέ κατάλληλη ἐπιλογή ἱεροψαλτῶν μπορεῖ νά μελετηθοῦν ταυτόχρονα, τό φᾶσμα τῆς φωνῆς καί ἡ EBCT (ἄξονική τομογραφία) ἢ MRI (μαγνητική τομογραφία) εἰκόνα.

Ἡ μέσω σύνθεσης ἀνάλυση τῆς ψαλτικῆς φωνῆς θά μπορούσε νά προσφέρει δεδομένα ὡς πρός τήν ἄρθρωση καί τήν παραγωγή τῆς φωνῆς. Μέχρι τώρα ἡ μελέτη μας χρησιμοποίησε συμπεράσματα ἄλλων ἐργασιῶν γιά τήν πηγαιά φωνή, πού ἡ κατανόηση τῆς συνεισφορᾶς τῆς στό ἡχόχρωμα τῆς ψαλτικῆς φωνῆς εἶναι ἐπίσης σημαντική.

Ἡ σύνθεση ψαλτικῆς φωνῆς, ἐπίσης θά μπορούσε νά βοηθήσει πειραματικά στήν ἀναζήτηση καταλλήλων ἡχοχρωμάτων γιά τήν ἐρμηνεία μουσικῶν κωδίκων τῆς σημειογραφίας.

Μελέτες ὡς πρός τήν σχέση μεταξύ τῆς τονικότητας καί τοῦ ἡχοχρώματος, δηλαδή τῶν μουσικῶν φωνητικῶν διαγραμμάτων εἶναι ἀπαραίτητες τόσο γιά λόγους ἐκπαιδευτικούς ὅσο καί γιά λόγους καλλιτεχνικούς.

Τέλος, μελέτες ὅσον ἀφορᾷ τόν καθορισμό μουσικῶν ἡχοχρωματικῶν φορμῶν, κάτι ἀντίστοιχο μέ τίς μελωδικές φόρμες τῆς βυζαντινῆς μουσικῆς, πρᾶγμα χρήσιμο σάν ἐργαλεῖο μουσικῆς ἐκφρασης.

Πολλές ἄλλες ἐργασίες θά μπορούσαν νά γίνουν μέ μικρότερη ἢ μεγαλύτερη σχέση μέ τά ψαλτικά ἡχοχρώματα γι' αὐτό, ἐλπίζουμε ὅτι μέ τίς ἀνωτέρω ἐργασίες περιγράφηκε ἕνα πλαίσιο μέσα στό ὁποῖο θά ἦταν δυνατόν νά ἀναπτυχθοῦν ἕνα πλήθος μελετῶν ὡς πρός τήν ψαλτική φωνή.

Ἐλπίζουμε ὅτι αὐτή ἡ μελέτη θά βρεῖ ἀνταπόκριση γιά περαιτέρω συνέχισή της καί ἀπό ἄλλους ἐρευνητές - φίλους τῆς παραδοσιακῆς μας μουσικῆς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Agren, K., and J. Sundberg. 1978. An acoustic comparison of alto and tenor voices. *J. Research in Singing* 1: 26-32.
2. Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification, *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. AC-19, pp. 716-723.
3. Atkinson, J. E. (1978). Correlation analysis of the physiological factors controlling fundamental voice frequency. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63(1), 211-222.
4. Bartholomew, W. T (1934).:A physical definition of a good voice quality in the male voice.*J Acoust. Soc. Am.* 6:25-33.
5. Berkley πανεπιστημίου μαθ. φυσικής - μεταφρ. ΕΜΠ. - ΚΥΜΑΤΙΚΗ (1979) ΑΘΗΝΑ.
6. Bloothoof G., Plomp R., (1986), The sound level of the singer's formant in professional singing , *J. Acous. Soc. Am.* 79, 2028-2033
7. Childers, D. G. (1995). Glottal source modeling for voice conversion. *Speech Comm.*, 16:127-138
8. Childers, D. G. (2000). *Speech Processing and Synthesis Toolboxes*. USA, John Wiley & Sons, Inc.
9. Cleveland, T. F. (1977) Acoustic properties of voice timbre types and their influence on voice classification, *JASA* 61: 1622-29.
- 10.Colton R. H., and Estill, J. A. (1981) . Elements of voice quality: Perceptual acoustic, and physiologic aspects, in *Speech and Language: Advances in Basic Research and Practice*, edited b N. J. Lass (Academic, New York), Vol. 5, pp. 311-403.
- 11.Deller, J. R., Jr - J. G. Proakis - J. H. L. Hansen, (1993) *DISCRETE-TIME PROCESSING OF SPEECH SIGNALS*, USA, σελ. 101 - 140.
- 12.Delviniotis D. S. (1998). A classification of Byzantine singing voices based on singer's formant. *Proceedings of Usipco - 98. Ninth European Signal Processing Conference*. Rhodes, Greece. September 1998. Volume I. pp. 129-132.
- 13.Dmitriev, L., and A. Kiselev. (1979). Relationship between the formant structure of different types of singing voices and the dimension of supraglottal cavities. *FP 31*: 238-41.
- 14.Fakotakis, N., (1986). New method for automatic speech recognition. Ph.D. diss., University of Patras, Greece.
- 15.Fant, G. 1960. *Acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton. pages:269-275.
- 16.Flanagan, J. L. (1972). *Speech analysis, synthesis and perception*. Springer-Verlag, 2nd edition.

17. Fletcher, H. (1953). *Speech and hearing in communication*. Princeton NJ: D. VanNorstrand Company, Inc.
18. Ginn, K. B. M. Sc. (1978) *Architectural Acoustics*, Brüel & Kjaer.
19. Gold, B., Morgan N. (2000) *Speech and Audio Signal Processing*. John Wiley & Sons, Inc.
20. Green Alan. (1991). *New voice - How to sing and speak properly*. Μετφρ. Τραμπίδη Α. Έκδόσεις Fagotto.
21. Hirano, M., W. Vennard, and J. Ohala. 1970. Regulation of register, pitch, and intensity of voice. *Folia Phoniatica* 22:1-20.
22. Kane, R. P., and N. B. Trivedi. (1979). Effects of Linear Trend and Mean Value on Maximum Entropy Spectral Analysis. *Institute de Pesquisas Espaciais, Report INPE-1568-RPE/069*, San Jose dos Campos, Brasil.
23. Keeler, R. J., Uncertainties in Adaptive Maximum Entropy Frequency Estimators, *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.* vol. ASSP-26, pp. 469-471, October 1978.
24. Ladefoged, P. (1975). *A course in phonetics*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
25. Markel J. D. (1972). Digital inverse filtering -a new tool for formant trajectory estimation, *IEEE Trans. Audio Electroacoust.* 20, 129-137.
26. Markel J. D., and Gray, A. H. (1976). *Linear prediction of speech*. Springer-Verlag, New York. NY
27. Marple, S. Laurence Jr. (1987). *Digital Spectral analysis with applications* (Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs. New Jersey)
28. Miller Richard. (1993). *Training tenor voices*. New York: Macmillan Publishing Company.
29. Moore, B. C. J., (1989). *An introduction to the Psychology of Hearing*, Academic Press, London.
30. Motoki, K., N. Miki and N. Nagai, (1992) Measurement of sound-pressure distribution in replicas of the oral cavity, *JASA* 92(5), pp.2577-2585
31. Nuttall, A. H., Spectral Analysis of a Univariate Process with Bad Data Points, via Maximum Entropy and Linear Predictive Techniques. *Naval Underwater Systems Center Technical Report TR-5303*. New london Conn., March 1976.
32. Ogorodnikova, E. A. (1988). An approach to the study of human perception of non-stationary complex sound pitch, (in Russian), *Sensornye Sistemy* 2, 304-311.
33. Oppenheim, A. V., and R. W. Schaffer (1989). *Discrete - Time Signal Processing*, pp. 311-312. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
34. Orfanos, I., G. Kouroupetroglou, and G. Boudouris (1983). Study of the acoustical characteristics of the Greek vowels. *Methods and Applications of Measurement and Control. Proceedings of the 6th International IASTED Symposium MECO '83*, Athens Hilton, August 29-September 2. ACTA PRESS 1984.
35. Parzen, E. (1974). Some recent advances in time series modelling, *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. AC-19, pp. 723-730.

36. Peterson, G. E., & Barney, H. L. (1952). Control methods used in a study of vowels. *JASA*, 24, 175-184.
37. Prives, M. - N. Lysenkov - V. Bushkovich, (1989) *Human anatomy*. Vol. 1. English translation, Mir Publishers, 1985.
38. Proakis, J., & Manolakis, D., (1992). *Digital signal processing. Principles, Algorithms, and Applications*. Second Edition. Macmillan Publishing Company. USA.
39. Rabiner, L., R., Schafer, R., W., (1978). *Digital Processing of Speech Signals*. Prentice - Hall Signal Processin Series.
40. Robinson, E. A., (1967), *Statistical Communication and Detection*. New York: Hafner, 1967.
41. Ross, J., (1992). Formant frequencies in Esthonian folk singing . *J. Acoust. Soc. Am.* 91, 3532-39.
42. Rossing, T. D., Sundberg, J., and Ternstr(m, S. (1986). (Acoustical comparison of voice use in solo and choir singing(*J. Acoust. Soc. Am.* 79, 1975-1981.
43. Rothenberg, M. (1973). A new inverse-filtering technique for deriving the glottal air flow during voicing. *JASA*, 53(6), 1632-1645.
44. Sakai, H., (1979). Statistical properties of AR spectral analysis. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, vol. ASSP-27, pp. 402-409
45. Salaman Esther (1989). *Unlocking your voice - Freedom to sing*. Victor Collancz. London
46. Sawashima, M., H. Hirose, K. Honda, H. Yoshioka, S. R. Hibi, N. Kawase, and M. Yamada. (1983). Stereoendoscopic measurement of the laryngeal structure. In *Vocal fold physiology. Contemporary research and clinical issues*, ed. D. M. Bless and J. H. Abbs, 264-76. San Diego: College-Hill.
47. Seidner W. Schutte, H. K., Wendler, J., and Rauhut, A. (1985). Dependence of the high singing formant on pitch and vowel in different voice types, in *SMAC 83: Proceedings o the Stockholm Music Acoustics Conference July 28-August 1, 1983* edited b A. Askenfelt, S. Felicetti, E. Jansson, and J. Sundberg (Royal Swedish Academy of Music, Stockholm), Vol. 1, pp. 261-268.
48. Sengupta R. (1990) . Study of some aspects of the singer's formant' in North Indian classical singing , *J. Voice* 4, 129-134.
49. Shipp, T., and K. Izdebski. 1975. Vocal frequency and vertical larynx positioning by singers and nonsingers. *JASA* 58: 1104-6.
50. Stevens, S. S., (1956). The direct estimation of sensory magnitudes: loudness, *Am. J. Psychoacoustics*. 69: 1-25.
51. Sundberg Johan (1987). *THE SCIENCE OF THE SINGING VOICE*, Northern Illinois, σελ. 17- 24.
52. Sundberg, J. (1970). "Formant structure and articulation of spoken and sung vowels" *Folia Phoniatr.* 22, 28-48
53. Sundberg, J. (1974). Articulatory interpretation of the singing formant, *J. Acoust. Soc. Am.* 55, 838843

54. Sundberg, J. (1987). *The Science of the Singing Voice* (Northern Illinois U. P., Dekalb).
55. Sundberg, J., and J. Gauffin. (1974). Masking effects of one's own voice. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report* (KTH, Stockholm) 1: 35-41.
56. Sundberg, J., and J. Gauffin. (1974). Waveform and spectrum of the glottal voice source, In *Frontiers of speech communication research, Festschrift for Gunnar Fant*, ed. B. Lindblom and S. Ohman, 301-20. London: Academic Press.
57. Terhardt, E. (1974). On the perception of periodic sound fluctuations (roughness). *Acustica* 30: 201-13.
58. Titze, Ingo R., (1994). *Principles of voice production*. Prentice-Hall. USA. pp. 119-120.
59. Toyama, M., Suzuki, H., Ando, Y., (1995) *The nature and technology of acoustic space*. Academic Press Limited
60. Ulrych, T. J., and M. Ooe, *Autoregressive and Mixed ARMA Models and Spectra*, Chapter 3 in *Nonlinear Methods of Spectral Analysis*, 2nd ed., S. Haykin, ed., Springer-Verlag, New York, 1983
61. Wakita, H., (1973) Direct estimation of the vocal tract shape by inverse filtering of acoustic speech waveforms. *IEEE Trans. AU-21*, pp. 417-427, 1973.
62. Akaike, H. (1969). Power spectrum estimation through Autoregression Model Fitting, *Ann. Inst. Stat. Math.*, vol. 21, pp. 407-419.
63. Αμαργιανάκη, Γεωργίου (1994-1995) *Η βυζαντινή εκκλησιαστική μουσική καί τά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της. Κύκλος Ἑλληνικῆς Μουσικῆς, Βυζαντινοί Μελουργοί. Ἐκδ. Μ.Μ.Α. (Μέγαρο Μουσικῆς Ἀθηνῶν), σελ. 74.*
64. Δελβινιώτης Δημ., Θεοδωρίδης Σέργ., Ἀμαργιαννάκης Γεώργ. (2000). Σύγκριση τῶν φωνηέντων τῆς Βυζαντινῆς Μουσικῆς μέ τά ἀντίστοιχα τῆς ὁμιλίας καί τοῦ ἀνδρικοῦ Ὀπερατικοῦ τραγουδιοῦ. Πρακτικά Β' Συμποσίου Μουσικῆς Πληροφορικῆς. Κέρκυρα. 9-10 Σεπτεμβρίου 2000.
65. Εὐθυμιάδης Ἀβραάμ (1972). *Μαθήματα Βυζαντινῆς Ἐκκλησιαστικῆς Μουσικῆς. Θεσσαλονίκη. Ἐκδοσις β'.*
66. Εὐσταθianoῦ Ἀλεξάνδρου. (1925) *Ἡ φωνή πρὸς ἄσμα καί λαλίαν. ΑΘΗΝΑΙ.*
67. Καρά Σίμωνος (1982) *ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΜ. Β', Αθήνα, σελ. 200.*
68. Κουρουπέτρογλου, Θ. Γεωργίου. *Μαθήματα ἐπεξεργασίας ὁμιλίας. Ἀθήνα, 1998.*
69. Οικονόμου Φίλιππος (1992) *Α. ΒΥΖΑΝΤΙΝΗ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΗ ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΨΑΛΜΩΔΙΑ, ΤΟΜ. Α', Αίγιο, σελ. 245.*
70. Παναγιωτόπουλου Δ. (1991). *Θεωρία καί πρᾶξις τῆς βυζαντινῆς εκκλησιαστικῆς μουσικῆς. Ἀδελφότης θεολόγων «ὁ Σωτήρ». Ἐκδοσις ε'.*
71. Παπαγιαννόπουλου, Ι. Ν. (1925) *Ο ΛΑΡΥΝΞ ΚΑΙ ΤΟ ΤΡΑΓΟΥΔΙ, Ἀθήνα*
72. Σπυρίδης Χαράλαμπος Χ., (1999) *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΥΣΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, Αθήνα, σελ. 88-96.*
73. Στάθης Γρηγ. (1978) *ΠΑΡΗΧΗΜΑΤΑ, Αθήνα, σελ. 106*

- 74.Στάθη Γρηγ. (1979) Οί αναγραμματισμοί καί τά μαθήματα τῆς Βυζαντινῆς Μελοποιίας, Ἀθήνα, 1979, σελ. 48-49.
- 75.Στάθη Γρηγ. (1982) ΤΑ ΠΑΘΗ ΤΑ ΣΕΠΤΑ, Σειρά δίσκων. Ἐκδοση Ἑλληνικοῦ Πολιτιστικοῦ Κέντρου Λονδίνου, σελ.33.
- 76.Στεφανίδης Βασίλειος. (1902). Σχεδιάσμα περί μουσικῆς Ἐκκλησιαστικῆς - Παράρτημα Ἐκκλησιαστικῆς Ἀληθείας, τεῦχος Ε', σελ. 207-279.
- 77.Τσατσαρώνης Γεώργιος. (1971). Ἱεροψαλτικά Νέα. Ὀκτώβριος.
- 78.Χρυσάνθου Αρχιεπισκόπου Δυρραχίου (1832) ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΝ ΜΕΓΑ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ, εκδοθέν υπό Π.Γ. Πελοπίδου εν Τεργέστη, σελ. 125

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Ο πίνακας φορμαντικών συχνοτήτων ανά φωνήεν καί ψαλτικό δείγμα καθώς και των αντίστοιχων σταθμών ισχύος τους. Στην τελευταία στήλη παριστάνονται οι κωδικοί αρίθμησης για κάθε ψαλτικό ήχοάκουσμα του πρώτου συνόλου δεδομένων.

289	0	1025	0	2497	-4	3041	-21	65
513	0	1377	0	2241	0	3073	-13	0
321	0	1665	0	2177	0	2945	-9	0
481	0	929	-1	2273	-15	2913	-9	0
353	0	929	0	2433	0	2977	-23	0
577	0	993	-9	2337	-31	3169	-30	11
385	0	1377	-10	2305	-25	3041	-19	0
289	0	1825	-17	2401	-14	3009	-18	0
385	0	929	0	2561	-23	3137	-26	0
353	0	897	-11	2401	-42	3009	-29	0
481	0	1089	-8	2273	-34	3137	-27	71
481	0	1313	-9	2145	-34	3009	-23	0
449	0	1601	-15	2337	-16	3265	-33	0
481	0	1025	-16	2497	-14	2881	-16	0
449	0	1601	-30	2529	-36	3137	-30	0
417	0	897	-6	2305	-14	2913	-11	67
385	0	1249	-14	2177	-17	2817	-13	0
353	0	1601	-8	2049	-24	2817	-14	0
417	0	961	0	2241	-19	2881	-15	0
417	0	961	-3	2113	-23	2817	-18	0
577	0	1217	0	2369	-15	2881	-14	111
481	0	1409	0	2369	-5	2881	-15	0
417	0	1921	0	2049	-2	2433	0	0
481	0	961	0	2369	-5	2785	-11	0
353	0	1185	-11	2369	-10	2689	-12	0
545	-3	897	-16	2561	-26	2741	-27	62
545	-9	1185	-18	2305	-22	2689	-22	0
513	-5	1569	0	2241	-24	3041	-29	0
513	-11	801	-12	2433	-21	2689	-21	0
513	-6	801	-17	2465	-32	2689	-38	0
513	0	1025	0	2593	-12	3169	-13	12
513	0	1313	0	2561	-19	3073	-19	0
417	0	1697	-17	2465	-23	3105	-10	0
545	0	1057	-11	2497	-26	3105	-34	0
481	0	929	-3	2529	-23	3105	-25	0
545	0	1121	-6	2785	-7	3137	-17	133
545	0	1345	-7	2529	-35	3233	-25	0
449	0	1729	-15	2273	-27	3041	-24	0
417	0	961	-15	2785	-47	3105	-43	0
577	0	1185	-7	2561	-31	3233	-24	0
513	0	1057	0	2625	-11	2977	-20	90
449	0	1345	-13	2465	-6	2977	-5	0
257	0	1793	0	2241	0	3073	-1	0
449	0	897	0	2785	0	3137	-18	0
417	0	897	0	2561	0	3137	-20	0
673	0	1057	-7	2753	-33	3233	-26	72
577	0	1409	0	2497	-19	3041	-24	0
385	0	1889	0	2433	-15	3105	-12	0

449	0	897	0	2721	-21	3009	-16	0
449	0	929	-21	2657	-29	3009	-23	0
609	0	1089	0	2561	-12	3233	-17	92
513	0	1345	0	2369	-12	3169	-19	0
481	0	1729	-6	2369	0	3297	-13	0
513	0	897	0	2305	0	3137	-24	0
449	0	1025	0	2305	-7	3265	-22	0
577	0	1185	0	2465	-9	3041	-6	101
513	0	1345	0	2465	0	3265	-9	0
417	0	1793	0	2305	-12	3297	-13	0
449	0	929	-6	2657	-7	3233	-9	0
417	0	1057	-4	2625	-13	3201	-7	0
545	0	1089	0	2689	-14	3201	-6	120
481	0	1377	0	2465	-16	3201	-2	0
481	0	1697	0	2465	-11	3137	-8	0
481	0	1089	-2	2625	-8	3073	0	0
353	0	1185	-11	2913	-13	3041	-8	0
545	0	1121	0	2657	-17	3329	-6	129
449	0	1569	0	2433	-9	3265	-8	0
417	0	1825	-14	2497	-3	3265	-8	0
449	0	897	0	2529	-14	3233	-8	0
417	0	929	-7	2529	-17	3265	-17	0
545	0	1089	-11	2561	-12	3297	-7	146
513	0	1409	0	2433	-11	3297	-7	0
449	0	1825	-5	2401	-1	3393	0	0
353	0	833	-5	2561	-12	3393	-10	0
353	0	801	-10	2497	0	3361	-9	0
609	0	1057	0	2721	-18	3361	-9	79
545	0	1281	-5	2401	-11	3361	-8	0
353	0	1633	0	2305	-19	3105	-10	0
513	0	929	0	2817	-19	3361	0	0
353	0	865	0	2593	-13	3233	-23	0
417	0	993	0	2657	-23	3265	-24	15
449	0	1345	0	2625	-19	3265	-29	0
385	0	1697	-12	2465	-16	3233	-25	0
449	0	801	0	2689	-23	3169	-28	0
481	0	769	0	2785	-23	3329	-18	0
545	0	961	-9	2529	-20	3297	-8	134
545	0	1281	0	2433	0	3137	-5	0
353	0	1537	0	2209	-18	3137	-12	0
513	0	961	0	2529	-13	3329	-6	0
353	0	833	0	2497	-16	3329	-7	0
545	0	1121	-15	2561	-9	3233	-8	103
481	0	1505	-16	2465	-6	3265	0	0
257	0	1985	-7	2401	0	3265	0	0
545	0	993	-20	2625	0	3393	-12	0
513	0	993	-10	2689	-18	3169	-18	0
481	0	1089	0	2753	0	3361	-8	149
481	0	1473	-19	2529	-34	3329	-23	0
449	0	1857	-25	2817	-42	3361	-31	0
449	0	1025	-14	2977	-32	3329	-28	0
481	0	1025	-20	2753	-40	3361	-34	0
641	0	1057	0	2465	-10	3361	-4	168
609	0	1505	0	2465	-11	3393	-4	0
353	0	1889	-4	2625	0	3361	-11	0
545	0	1025	-8	2689	-16	3393	-8	0

353	0	897	-12	2689	-28	3393	0	0
577	0	1153	-9	2625	-19	3297	-24	147
513	0	1313	-8	2433	-11	3329	-20	0
577	0	1633	0	2337	0	3361	-5	0
449	0	897	0	2657	-21	3137	-29	0
449	0	897	0	2657	-21	3137	-29	0
577	0	1089	0	2657	-22	3361	-18	77
577	0	1089	0	2625	-22	3233	-9	0
513	0	1601	-15	2497	-23	3297	-14	0
481	0	865	0	2721	-21	3233	-16	0
513	0	993	-9	2753	-17	3233	-16	0
545	0	1089	0	2593	-24	3393	-16	86
513	0	1185	-13	2401	-20	3297	-13	0
353	0	1569	-25	2177	-28	3361	-30	0
513	0	929	0	2945	-29	3329	-26	0
417	0	929	0	2689	-31	3265	-15	0
513	0	993	0	2753	-19	3297	-24	95
609	0	1217	0	2497	-38	3329	-33	0
289	0	1697	-9	1953	-12	3233	-27	0
481	0	897	0	2913	-30	3297	-25	0
481	0	897	0	2753	-18	3105	-20	0
513	0	929	0	2849	0	3233	-6	121
545	0	1601	-4	2625	0	3265	-3	0
257	0	1921	0	2465	0	3297	-6	0
385	0	897	0	2817	0	3233	-11	0
257	0	833	0	2753	-9	3233	-14	0
545	-9	1089	0	2561	-8	3169	0	141
577	-7	1153	-8	2401	-19	3201	-17	0
385	-3	1505	-40	2497	-37	3233	-25	0
321	0	833	-13	2817	-23	3297	-12	0
417	-11	737	-15	2913	-33	3265	-30	0
545	0	1057	0	2977	0	3265	-3	8
577	0	1217	-11	2433	-23	3297	-13	0
481	0	1633	-15	2305	-16	3297	-7	0
449	0	897	0	2880	-30	3297	-14	0
577	0	897	0	2880	-33	3233	0	0
481	0	1249	-6	2561	-14	3233	0	25
673	-12	1505	-28	2177	-25	3297	-12	0
545	0	1697	-18	2337	-28	3393	-12	0
257	0	929	-13	2753	-20	3361	-12	0
321	0	737	-12	2881	-32	3297	-26	0
513	0	929	-2	2721	-11	3297	-8	61
449	0	1345	0	2273	-22	3329	0	0
449	0	1825	-5	2177	-14	3457	0	0
481	0	929	0	2785	-13	3393	-16	0
353	0	737	-6	2817	-13	3329	-16	0
513	0	1057	0	2849	-16	3201	-14	83
545	0	1345	0	2433	-11	3137	-17	0
417	0	1857	-13	2593	-9	3201	-19	0
609	0	1025	0	2849	-25	3169	-23	0
417	0	865	0	2753	-24	3201	-34	0
609	0	993	0	2593	-6	3233	-16	27
513	0	1089	-7	2497	-5	3233	-23	0
417	0	1537	-12	2177	-8	3201	-18	0
545	0	897	0	2657	0	3137	-20	0
513	0	993	-6	2465	-9	3233	-18	0

641	0	1121	0	2625	0	3169	-18	84
449	0	1825	0	2593	0	3457	-15	0
417	0	2145	0	2753	-1	3393	-18	0
513	0	1089	0	2625	-20	3329	-20	0
353	0	961	-11	2113	-26	3297	-29	0
545	0	1089	0	2689	-20	3201	-21	100
481	0	1377	-3	2337	-19	3105	-24	0
385	-3	1633	-10	2369	-14	3169	-12	0
545	0	1025	-6	2657	-20	3105	-25	0
417	0	961	-4	2465	-24	3073	-24	0
577	0	1313	0	2817	-17	3361	-18	167
641	0	1441	0	2401	-26	3297	-17	0
545	0	1601	-11	2401	-15	3361	-12	0
513	0	961	0	2881	-16	3393	-25	0
513	0	1089	0	2593	-13	3425	-21	0
513	0	1281	-11	2049	-22	3393	-25	93
545	0	1633	-14	2369	-11	3425	-20	0
449	0	2049	-5	2529	-13	3425	-10	0
481	0	769	0	2017	-22	3329	-31	0
417	0	865	0	2881	-11	3457	-27	0
481	0	1153	-6	2817	-29	3233	-27	102
513	0	1473	-11	2497	-17	3201	-29	0
385	0	1633	-9	2337	-16	3233	-32	0
449	0	993	-17	2817	-40	3425	-45	0
577	0	1089	-15	2689	-26	3265	-25	0
641	0	1185	0	2849	-23	2977	-22	59
513	0	1409	0	2689	-21	3009	-26	0
449	0	1825	0	2561	-23	2881	-25	0
481	0	1057	-13	2977	-24	3009	-23	0
353	0	769	-12	2881	-28	2913	-16	0
609	0	1089	-8	2977	-36	3393	-37	68
609	-6	1345	-6	2625	-26	3169	-33	0
289	0	1889	-25	2401	-28	3169	-22	0
609	0	1089	-8	2913	-28	3393	-40	0
545	0	1089	-12	2977	-21	3393	-34	0
705	0	1281	0	2753	-19	3489	-18	21
641	0	1473	0	2369	0	3361	-13	0
577	-2	1601	0	2369	0	3201	-1	0
737	0	1121	-9	2817	0	3425	-17	0
417	0	801	0	2689	-3	3041	-11	0
737	0	929	-6	2881	0	3169	-9	60
705	-14	1601	0	2401	0	3169	0	0
225	-8	1825	-7	2497	0	3137	0	0
417	0	897	-4	2849	0	3137	0	0
225	0	833	0	2497	-7	3169	0	0
513	0	993	-1	1985	-23	3329	-27	78
545	0	1025	-14	2081	-29	3329	-27	0
385	0	1633	0	2049	-9	3329	-17	0
577	0	929	0	1857	-37	3425	-29	0
513	0	801	0	1857	-12	3329	-19	0
609	0	1025	0	2657	-18	3073	-12	6
609	0	1377	0	2241	-20	3233	-10	0
385	0	1825	-7	2689	-10	3201	0	0
481	0	833	0	2721	-12	3137	-16	0
353	0	737	-3	2465	-19	3201	-8	0
609	0	993	0	2593	-21	3169	-28	14

705	0	1313	-15	2177	-23	3297	-22	0
257	0	1793	-12	2625	-18	3265	-23	0
577	0	833	0	2721	-29	3169	-21	0
353	0	850	-10	2337	-34	3265	-40	0
577	0	1121	0	2721	0	3425	-8	170
513	0	1377	0	2433	0	3329	-15	0
417	0	1857	0	2209	0	3393	-12	0
513	0	993	-9	2753	-8	3457	-19	0
513	0	993	-7	2529	0	3297	-26	0
577	0	1153	0	2721	-22	3297	-20	55
513	0	1121	-15	2593	-35	3265	-11	0
513	0	1665	-5	2177	-1	3297	-2	0
513	0	833	0	2785	-32	3265	-25	0
577	0	833	-7	2689	-25	3105	-8	0
609	0	1153	0	2753	-10	3201	-15	140
609	0	1473	0	2401	-7	3169	-7	0
417	0	1793	0	2241	-12	3137	0	0
577	0	993	0	2849	-7	3201	-11	0
417	0	769	0	2625	-7	3073	-11	0
481	0	1025	0	2465	-16	3233	-16	48
545	0	1185	0	2241	-28	3329	-14	0
449	0	1569	-13	2529	-16	3329	-15	0
449	0	897	-10	2657	-18	3233	-14	0
417	0	1057	-4	2689	-20	3233	-7	0
481	0	993	0	2753	-10	3233	-24	85
705	0	1249	-7	2657	-21	3329	-24	0
481	0	1569	-22	2401	-30	3265	-24	0
513	0	993	-17	2753	-20	3201	-38	0
417	0	769	0	2721	-31	3137	-33	0
641	0	1057	0	2913	-13	3233	-22	53
577	0	1441	0	2465	-6	3169	-22	0
257	0	2017	-1	2529	-6	3169	-7	0
609	0	993	0	2977	-14	3329	-18	0
353	0	833	0	2721	-21	3233	-15	0
641	0	1121	-7	2273	-35	3201	-23	16
673	-6	1377	-22	2305	-43	3233	-45	0
289	0	1665	-36	2337	-40	3137	-52	0
609	-7	1089	-22	2177	-52	3169	-48	0
513	-5	1089	-23	2305	-49	3105	-41	0
577	0	961	0	2625	-9	3137	-9	13
449	0	1345	0	2401	-12	3105	0	0
321	0	1569	-10	2465	-16	3073	0	0
417	0	897	0	2785	-12	3105	-13	0
417	0	801	0	2881	-13	3137	-19	0
641	0	1025	-13	2945	-7	3105	-17	123
577	0	1281	-9	2529	-6	3009	-14	0
385	0	1793	-5	2401	-6	3041	-16	0
577	0	769	0	2913	-13	3201	-15	0
449	0	1889	-21	2817	-17	3073	-9	0
481	0	865	0	2977	-20	3297	-28	153
577	0	1185	-7	2369	-3	3169	0	0
417	0	1825	0	2241	0	3137	-6	0
545	0	929	-16	2913	-27	3361	-16	0
417	0	801	0	3009	0	3137	0	0
609	0	1153	0	2753	0	3137	-7	125
577	0	1409	0	2433	-6	3105	-11	0

385	0	1857	0	2369	0	2977	-12	0
545	0	1089	-2	2625	-6	3041	0	0
449	0	993	-7	2625	0	3073	-5	0
705	0	1185	-6	2849	-23	3329	-3	64
705	0	1761	0	2625	-12	3425	-9	0
257	0	2273	0	2785	-15	3457	-13	0
609	-5	1057	0	2977	-14	3457	-20	0
449	0	1153	-4	2881	-29	3393	-25	0
577	-1	1185	0	2497	-10	3041	-9	73
513	0	1377	0	2465	-11	3169	-11	0
353	0	1729	-12	2209	-18	3073	-24	0
513	0	833	0	2913	-27	3265	-23	0
289	0	673	-2	2657	-40	3137	-37	0
577	0	1025	-3	2689	-15	2849	-14	49
545	0	1473	-12	2369	-30	3041	-33	0
513	0	1665	0	2721	-29	3169	-23	0
545	0	929	-5	2625	-28	3073	-43	0
385	0	929	0	2657	-44	3201	-38	0
513	0	1025	-11	2817	-30	3265	-27	150
385	0	1313	-26	2081	-33	3041	-42	0
289	0	1569	-38	2305	-36	3265	-32	0
449	0	929	-17	2593	-39	3201	-40	0
513	0	993	-23	2593	-40	3265	-40	0
513	0	1057	-3	2593	-12	3137	-14	19
481	0	1345	-9	2209	-12	3297	-14	0
385	0	1633	0	2241	0	3009	0	0
417	0	833	0	2785	-14	2913	-4	0
417	0	833	-6	2785	0	2913	-5	0
641	-13	1121	0	2241	-20	3073	-12	152
513	0	1185	0	2017	-17	2849	-3	0
353	0	1633	0	1953	-8	3041	-4	0
577	-6	1025	-10	2305	-9	2913	0	0
385	0	865	-10	2401	-6	3105	-7	0
545	0	1057	0	2465	-16	3073	-16	156
417	0	1249	-6	2273	-19	3009	-15	0
321	0	1537	-16	2145	-18	2945	-5	0
417	0	833	0	2497	-22	3105	-20	0
385	0	929	-5	2465	-19	2977	-15	0
609	0	1185	-1	2401	-14	3009	-4	39
417	-10	1441	0	2145	-19	3073	-9	0
417	0	1665	0	2241	-11	3233	-4	0
513	0	1185	0	2241	-8	2977	0	0
385	0	929	0	2177	-21	3137	-12	0
513	0	1185	-21	2209	-26	3297	-22	17
577	0	1633	-20	2273	-21	3105	-15	0
257	0	1601	-4	2369	-27	3073	-20	0
449	0	929	-18	2369	-24	3201	-26	0
257	0	897	-15	2369	-39	3137	-48	0
481	0	1217	-8	2529	-23	3169	-33	26
481	0	1377	-18	2369	-29	3105	-28	0
257	0	1601	-23	2369	-36	3201	-34	0
481	0	833	-8	2497	-18	3201	-29	0
257	0	833	-22	2369	-35	3137	-44	0
577	0	865	-18	2625	-35	3009	-21	126
513	0	1377	-11	2337	-24	3137	-21	0
385	0	1569	-10	2273	-8	3041	-29	0

481	0	833	-9	2529	-39	3105	-28	0
417	0	833	0	2689	-11	3073	-23	0
513	0	801	-6	2817	-18	3073	-11	34
545	0	1473	0	2497	-3	3201	-11	0
321	0	2017	-7	2529	-8	3137	0	0
417	0	801	-12	2881	-14	3137	-12	0
353	0	865	-18	2465	-26	3073	-26	0
481	0	929	-6	2689	-12	3073	-11	51
417	0	1281	-22	2273	-14	2945	-18	0
385	0	1569	-12	2145	-8	3233	-7	0
353	0	673	-6	2721	-7	2913	-12	0
289	0	737	-19	2753	-27	3137	-26	0
545	0	1057	0	2689	-28	3137	-21	3
449	0	1313	0	2113	-26	3009	-18	0
353	0	1889	-18	2497	-20	3169	-26	0
481	0	929	0	2753	-25	3137	-24	0
417	0	993	-8	2945	-32	3233	-19	0
609	0	1025	-8	2497	-9	3265	-10	155
481	0	1537	-12	2369	0	3169	0	0
449	0	1729	-10	2369	0	3169	-6	0
513	0	993	-8	2529	-10	3137	0	0
385	0	801	-7	2625	-7	3201	-5	0
641	0	1217	0	2465	-24	3105	-10	29
481	0	1281	0	2369	-12	2945	-14	0
385	0	1665	0	2145	-12	2849	0	0
577	0	897	-2	2369	-18	2881	-12	0
257	0	705	-8	2369	-20	3169	-22	0
545	0	1249	0	2657	-19	3041	-25	87
545	0	1409	-20	2497	-29	3041	-26	0
481	0	1793	-13	2401	-24	2945	-14	0
513	0	993	-29	2625	-47	3041	-21	0
513	0	993	-1	2625	-26	3041	-21	0
641	0	1313	0	2561	0	3233	-15	104
545	0	1249	-15	2561	-15	3169	-23	0
449	0	1569	0	2433	0	3137	-12	0
641	0	1089	0	2689	-7	3105	-12	0
577	0	1057	0	2721	0	3169	-15	0
545	0	1025	-13	2465	-24	3041	-17	80
481	0	1281	-14	2337	-15	2945	-12	0
417	0	1825	-24	2209	-20	3009	-14	0
353	0	897	-10	2561	-18	3073	-15	0
417	0	865	-13	2497	-21	2945	-20	0
545	0	1057	-10	2529	-29	3105	-31	98
545	0	1249	-20	2369	-22	3041	-34	0
449	0	1345	-10	2081	-16	2977	-26	0
545	0	833	-3	2593	-24	3073	-19	0
257	0	769	0	2433	-31	3073	-28	0
545	0	1057	0	2817	-15	3105	-16	99
545	0	1505	0	2593	-21	3169	-15	0
321	0	1889	-4	2433	-17	3009	-25	0
513	0	929	-5	1889	-25	2945	-19	0
417	0	993	-7	2049	-34	2753	-33	0
609	0	1121	0	2465	-4	2913	-4	116
545	0	1409	-17	2497	-29	3009	-20	0
449	0	1633	-26	2241	-34	2945	-24	0
513	0	961	-7	2369	-31	2945	-29	0

385	0	993	-5	2369	-36	2945	-32	0
577	0	1057	0	2785	-18	3041	-10	166
513	0	1441	0	2625	-23	3105	-24	0
513	0	1697	0	2625	-19	3105	-11	0
481	0	993	0	2689	-21	3105	-6	0
353	0	769	-7	2689	-34	2977	-17	0
609	0	1121	0	2625	-5	3105	-17	57
513	0	1377	-11	2433	-27	2977	-31	0
321	0	1921	-22	2273	-36	2977	-33	0
513	0	865	0	2753	-39	3137	-46	0
417	0	705	-14	2433	-53	3009	-50	0
449	-4	1121	-4	2401	-6	3329	0	108
449	-1	1441	-35	2369	-31	3297	-17	0
321	0	1665	-34	2305	-35	3297	-15	0
353	0	1089	-14	2561	-19	3297	-18	0
417	-7	1057	-20	2529	-18	3361	-15	0
545	0	1153	-7	2721	0	3297	-14	117
321	0	1409	-19	2401	-22	3233	-25	0
321	0	1857	-30	2337	-24	3265	-19	0
385	0	993	-7	2721	-22	3233	-23	0
481	0	1185	-13	2657	-14	3201	-27	0
609	0	961	0	2497	-16	3201	-9	76
513	0	1441	0	2433	0	3201	-8	0
353	0	1729	-5	2305	-16	3297	-9	0
545	0	1153	-10	2593	-13	3297	0	0
353	0	769	-1	2497	-18	3233	-8	0
673	0	1185	-1	2849	-17	3521	-15	37
481	0	1697	0	2529	-11	3425	-19	0
417	0	2113	-5	2465	-5	3521	-18	0
609	0	1057	0	2657	-21	3553	-22	0
449	0	929	-12	2657	-26	3425	-18	0
673	0	1121	-1	2849	0	3425	0	106
673	0	1537	-4	2433	0	3361	-7	0
481	0	1729	-12	2497	0	3457	-7	0
449	0	769	0	2849	-5	3457	-5	0
417	0	737	0	2945	-2	3489	-10	0
609	0	1121	0	2849	-26	3553	-24	161
577	0	1409	0	2721	-23	3425	-14	0
481	0	1857	0	2785	-24	3553	-10	0
545	0	1025	0	2849	-19	3425	-3	0
481	0	929	-1	2817	-29	3425	-14	0
513	0	897	0	2881	-29	3585	-29	41
545	0	1249	0	2721	-21	3553	-21	0
449	0	1953	-7	2593	-18	3489	-12	0
545	0	897	0	2945	-31	3521	-30	0
417	0	801	-5	2529	-41	3393	-40	0
705	0	1153	-14	2625	-39	3425	-41	118
545	0	1345	-17	2433	-28	3297	-26	0
449	0	1697	-11	2465	-20	3361	-30	0
417	0	897	-7	2433	-41	3265	-35	0
449	0	929	-3	2753	-50	3361	-34	0
545	0	1153	-3	2593	-28	3425	-25	2
481	0	1633	-6	2561	-6	3489	-7	0
385	0	1921	-16	2561	-14	3425	-14	0
513	0	1089	-13	2753	-17	3489	-14	0
513	0	993	0	2497	-21	3425	-10	0

641	0	1025	0	2849	-20	3617	-22	28
545	0	1313	0	2689	-18	3649	-22	0
385	0	1793	0	2401	-12	3617	-22	0
545	0	1057	-7	2721	-15	3617	-21	0
385	0	929	-14	2721	-19	3457	-22	0
577	0	1057	-6	2785	-18	3393	-15	94
481	0	1537	-16	2497	-19	3521	-13	0
449	0	1921	-8	2369	-25	3457	-12	0
449	0	993	-9	2721	-33	3489	-23	0
449	0	1025	-2	2785	-23	3489	-20	0
641	0	1057	0	2881	-21	3489	-12	112
609	0	1761	-9	2657	-19	3393	-18	0
385	0	2017	0	2561	-15	3457	-12	0
577	0	897	0	2881	-29	3393	-21	0
481	0	993	-8	2849	-37	3425	-19	0
641	0	1121	-14	2881	-24	3489	-36	137
513	0	1537	-14	2593	-20	3393	-19	0
353	0	2049	-13	2593	-19	3425	-30	0
577	0	993	-7	2881	-33	3489	-34	0
417	0	961	-13	2849	-29	3393	-31	0
609	0	1057	-10	2849	-23	3489	-34	145
641	0	1345	-19	2593	-18	3521	-14	0
481	0	2209	-14	2433	-16	3457	-16	0
577	0	897	-6	2945	-29	3457	-24	0
353	0	1057	0	2913	-13	3521	-8	0
609	0	1089	0	2689	-30	3489	-28	69
545	0	1345	0	2433	-17	3425	-30	0
289	0	1633	-5	2081	0	3489	-14	0
609	0	993	0	2689	-24	3297	-27	0
385	-4	801	-11	2689	-26	3297	-36	0
481	0	1025	0	2913	-20	3521	-11	70
513	0	1249	0	2497	-13	3457	-17	0
385	0	1665	-10	2273	-4	3457	-12	0
481	0	961	0	2849	-18	3489	-12	0
353	0	833	-4	2433	-25	3393	-32	0
673	0	1153	0	2721	-33	3265	-25	88
481	0	1537	-11	2529	-18	3361	-15	0
481	0	1953	-20	2465	-13	3457	-16	0
481	0	993	0	2657	-29	3361	-26	0
449	0	961	-7	2657	-29	3329	-23	0
609	0	1089	0	2561	-23	3553	-26	124
609	0	1441	0	2497	-28	3553	-30	0
257	0	1729	0	2305	-12	3489	-30	0
545	0	1025	0	2657	-30	3489	-32	0
545	-3	1025	-10	2657	-30	3489	-38	0
513	0	1057	0	2849	0	3393	-9	63
641	0	1377	0	2465	-13	3297	0	0
385	0	1889	0	2465	-16	3393	-14	0
513	0	961	0	2817	-19	3425	-4	0
417	0	865	-8	2753	-42	3425	-35	0
481	0	1185	0	2721	-11	3425	-12	107
513	0	1505	0	2625	-6	3329	-13	0
385	0	1857	-5	2529	-4	3329	-11	0
481	0	929	-5	2753	-14	3361	-13	0
449	0	897	-9	3073	-8	3329	-9	0
673	0	1217	-2	2657	-16	3489	-1	40

481	0	1441	0	2337	-28	3329	-33	0
321	0	1825	-15	2241	-22	3425	-28	0
545	0	1089	-8	2753	-38	3393	-29	0
449	0	801	0	2657	-51	3329	-23	0
737	-1	993	0	2721	-10	3329	-11	43
513	0	1537	0	2369	0	3425	-7	0
353	0	2177	0	2593	-9	3361	-12	0
321	0	705	0	2657	-8	3297	-5	0
353	0	961	0	2785	-22	3393	-15	0
673	0	1185	-7	2785	-29	3713	-33	89
673	0	1377	0	2785	-37	3713	-26	0
481	0	2081	-26	2849	-38	3713	-43	0
609	0	1089	-13	2785	-36	3617	-29	0
609	0	1089	-13	2785	-36	3617	-50	0
449	0	929	-6	3329	-25	3617	-24	154
449	0	1633	-8	2785	-9	3585	-32	0
545	-24	2145	0	2657	-11	3297	-29	0
321	0	897	-12	3393	-22	3649	-27	0
353	0	1025	-24	3393	-55	3521	-50	0
705	-4	961	0	2945	-14	3457	-18	113
769	0	1185	0	2721	-23	3297	-14	0
289	0	1985	0	2241	0	3361	-9	0
641	0	929	0	3009	-5	3425	-10	0
321	0	1025	0	3105	-17	3457	-19	0
545	0	1089	-13	2657	-20	3233	-21	33
545	0	1313	-6	2305	-13	3425	-23	0
385	0	1825	-17	2209	-18	3425	-23	0
481	0	897	-3	2657	-16	3233	-23	0
353	0	1025	-1	2529	-10	3265	-11	0
513	-12	1153	0	3073	-20	3297	-14	66
641	0	1601	0	2913	-13	3585	-19	0
353	0	2241	-5	2881	-16	3649	-20	0
481	0	993	-7	3073	-14	3553	-16	0
321	0	1089	-2	3041	-26	3393	-13	0
769	0	961	0	2721	-13	3553	-32	138
449	-17	1249	0	2401	-12	3297	-27	0
481	-7	1825	0	2273	0	3169	-19	0
609	0	865	0	2881	-16	3425	-21	0
513	0	865	0	2561	-12	3265	-6	0
705	0	993	0	2081	-22	3457	-20	56
609	0	1313	-12	2209	-19	3425	-12	0
481	0	1569	-5	2241	-17	3425	-10	0
449	0	929	0	2177	-16	3297	-19	0
417	0	929	-6	2113	-9	3361	-12	0
385	0	737	0	3361	-25	3553	-29	75
449	0	1633	-7	2785	-15	3553	-28	0
353	0	2209	0	2625	-18	3553	-26	0
385	0	1057	-15	2753	-32	3073	-31	0
481	0	961	-29	2721	-53	3457	-41	0
737	0	1185	0	2721	-13	3361	-15	81
641	0	1601	0	2817	-11	3649	-24	0
385	0	1889	-9	3041	-2	3169	-3	0
609	0	1089	-8	2785	-27	3233	-22	0
417	0	737	-5	2561	-28	3297	-29	0
481	0	1057	-10	2113	-43	3233	-32	159
481	0	1121	-11	2241	-25	3233	-37	0

321	0	1665	-9	2049	0	3233	-36	0
449	0	833	-9	2049	-36	3009	-31	0
481	0	801	0	2049	-37	3009	-36	0
641	0	1089	-16	2657	-38	3553	-39	45
609	0	1665	-12	2401	-23	3553	-36	0
417	0	2049	0	2337	-7	3393	-33	0
577	0	993	0	2625	-37	3553	-43	0
385	0	929	-23	2401	-45	3489	-46	0
545	0	897	-14	2721	-38	3137	-37	130
577	0	1121	-15	2433	-31	3201	-33	0
449	0	1697	-14	2273	-28	3169	-22	0
481	0	833	-5	2529	-42	3169	-33	0
417	0	673	0	2497	-38	3201	-33	0
609	0	1153	0	2529	-13	3329	-29	47
513	0	1441	0	2273	0	3617	-24	0
385	0	1761	0	2369	0	3265	-13	0
481	0	1057	0	2497	-13	3329	-23	0
353	-9	961	0	2497	-14	3137	-18	0
545	0	1025	0	2529	-25	3137	-20	74
513	0	1409	0	2305	-6	3169	-9	0
289	0	1633	-20	2465	-14	3137	-17	0
545	0	1025	0	2721	-14	3297	-7	0
449	0	961	0	2529	-20	3137	-17	0
673	0	1025	0	2017	-9	3329	-12	110
577	0	1313	0	2209	-10	3329	-12	0
481	0	1537	0	2273	-11	3425	-3	0
577	0	833	0	1825	-4	3425	-7	0
545	0	769	-8	1665	-11	3425	-8	0
481	-3	1217	-10	2369	-22	3201	-8	10
449	0	1505	0	2241	-14	3233	-8	0
257	0	1793	-14	2305	-14	3329	-6	0
417	0	1089	-13	2433	-12	3233	-1	0
353	0	1025	-11	2177	-21	3201	-6	0
609	0	1249	-15	2049	-21	2977	-25	136
449	0	1441	0	2113	-19	3041	-18	0
481	0	1953	-6	2113	-6	3201	-13	0
449	0	865	-7	2081	-24	2945	-25	0
481	0	897	-11	1921	-32	3265	-14	0
673	0	1185	0	2561	-7	3457	-26	122
417	0	1345	0	2177	-8	3329	-23	0
257	0	1793	0	2017	0	3457	-20	0
577	0	769	0	2433	-19	3201	-13	0
417	0	801	-5	2433	-21	3201	-26	0
513	0	1121	0	2209	-22	3265	-15	38
449	0	1345	-1	2401	-16	3393	-16	0
321	0	1921	-6	2433	-10	3393	-15	0
481	0	961	0	2401	-22	3201	-13	0
417	0	769	-9	2401	-26	3041	-29	0
481	0	1057	0	2657	-18	3073	-29	54
513	0	1441	-13	2401	-21	3201	-27	0
449	0	1857	-26	2465	-18	3201	-15	0
481	0	865	0	2625	-28	3137	-35	0
417	0	897	-16	2561	-23	3137	-37	0
577	0	1057	0	2753	-10	3137	-42	46
481	0	1505	-10	2369	-22	3137	-25	0
353	0	1953	-19	2497	-18	3137	-28	0

481	0	865	0	2625	-28	3137	-35	0
353	0	833	-13	2561	-29	3073	-40	0
577	0	1249	-9	2177	-6	2913	-17	139
417	0	1569	-14	2337	-16	3073	-21	0
353	0	1825	-3	2273	-8	3073	-4	0
545	0	1057	-13	2145	-22	3041	-15	0
449	0	1057	-12	2209	-23	2945	-15	0
641	0	1121	0	2337	-14	3265	0	148
513	0	1409	0	2209	-12	3169	0	0
417	-9	1569	0	2145	-14	3137	-12	0
481	-3	993	0	2721	-16	3297	0	0
449	0	865	0	2721	-6	3201	0	0
545	0	1313	-3	2593	-11	3201	-16	142
545	0	1569	-9	2337	-4	3137	-6	0
513	-8	1825	0	2273	0	3201	0	0
545	0	833	-2	2657	-14	3265	-18	0
449	0	865	0	2785	-15	3169	-10	0
673	0	1089	-11	2081	-21	3201	-14	1
609	0	1473	-9	2689	-20	3297	-16	0
417	0	1825	0	2017	-6	3393	-7	0
609	0	769	-4	1953	-23	2881	-24	0
449	0	769	0	1857	-20	3297	-22	0
481	0	1313	-27	2433	-47	3169	-50	119
545	0	1313	-21	2369	-31	3137	-42	0
481	0	1505	-22	2369	-38	3329	-52	0
417	0	1377	-30	2529	-48	3201	-51	0
417	0	1249	-35	2305	-47	3137	-51	0
641	0	1057	-15	2337	-24	3105	-21	143
545	0	1345	-9	2209	-20	3105	-12	0
449	0	1665	-25	2241	-18	3201	-12	0
481	0	865	-1	2465	-10	3169	-13	0
449	0	737	-7	2369	-27	3041	-22	0
673	0	1281	0	2625	-8	3425	-17	158
609	0	1441	0	2657	-6	3393	-18	0
289	0	1857	-8	2273	-11	3233	-12	0
545	0	1153	-12	2561	-25	3361	-27	0
385	0	1281	-10	2561	-9	3393	-22	0
705	0	1185	0	2305	-19	3233	-15	35
673	0	1441	0	1985	-17	3297	-11	0
449	0	1633	0	2081	-10	3073	-3	0
481	0	737	0	2465	-23	3009	-14	0
321	0	769	0	2337	-12	3041	-6	0
641	0	1185	0	2305	-26	3393	-13	163
609	0	1249	0	2337	-17	3425	-5	0
225	0	1761	-8	2241	-14	3297	-13	0
609	0	1025	-3	2209	-29	3361	-21	0
321	0	833	-9	2241	-14	3233	-14	0
577	0	1185	0	2657	-12	3265	-17	144
577	-2	1409	-10	2561	-9	3297	-23	0
449	0	2049	0	2561	0	3265	-14	0
417	0	929	-11	2369	-43	3265	-54	0
513	0	1185	-9	2721	0	3265	0	0
609	0	1185	0	2529	-25	3265	-30	20
641	0	1665	-1	2497	-21	3297	-19	0
385	0	1953	0	2017	0	3265	-22	0
641	0	1121	0	2209	-38	3233	-35	0

609	0	1153	0	2881	-24	3265	-23	0
481	0	1089	-18	2433	-34	3361	-29	44
513	0	1441	-16	2113	-18	3329	-32	0
481	0	1729	-15	2273	-22	3233	-39	0
481	0	993	-15	2657	-18	3393	-17	0
385	0	961	-23	2529	-36	3393	-43	0
577	0	1153	-8	2465	-24	3169	-25	52
513	0	1345	-16	2337	-14	3137	-25	0
385	0	1697	-13	2337	-15	3137	-26	0
545	0	1025	-1	2497	-22	3137	-27	0
449	0	1025	-9	2529	-26	3169	-42	0
577	0	1089	-13	2305	-31	3265	-33	169
545	0	1505	-6	2305	-38	3297	-25	0
417	0	1953	-15	2305	-30	3393	-18	0
481	0	1153	0	2209	-37	3265	-36	0
449	0	1121	-20	2401	-33	3297	-38	0
545	-7	1089	0	2273	-15	3169	-13	23
545	-5	1505	0	2081	-8	3073	-3	0
289	0	1953	0	2145	0	3265	-6	0
481	0	897	0	2273	-18	3041	-5	0
257	0	1089	0	2305	-21	3073	-21	0
481	0	993	-4	2497	-32	3137	-26	165
417	0	1249	-19	2241	-21	3105	-29	0
353	0	1601	-27	2177	-21	3041	-33	0
513	0	865	-6	2369	-42	3041	-47	0
353	0	737	-17	2593	-27	3105	-32	0
673	0	1153	0	2529	-15	3265	-18	157
449	0	1409	0	2561	-15	3265	-13	0
353	0	1761	0	2529	0	3297	-3	0
545	0	1025	0	2593	-23	3265	-27	0
385	0	865	0	2689	-19	3201	-17	0
577	0	1057	0	2273	-14	3265	-3	132
609	0	1249	0	2145	-8	3201	-2	0
321	0	1889	0	2433	-14	3233	-6	0
513	0	993	0	2113	-15	3265	0	0
449	0	1025	0	2049	-4	3169	-7	0
481	0	961	-9	2017	-22	3393	-30	24
449	0	1249	-7	2337	-19	3361	-21	0
289	0	1825	0	2369	-12	3265	-16	0
513	0	833	0	2241	-17	3329	-17	0
417	0	833	-8	1921	-31	3425	-31	0
577	0	993	-10	2433	-24	3201	-31	31
513	0	1729	-4	2433	-5	3233	-21	0
321	0	1761	0	2369	-7	3169	-20	0
449	0	865	0	2433	-22	3201	-29	0
321	0	737	-13	2433	-21	3265	-28	0
417	-6	1025	0	2145	-27	3297	-13	171
449	0	1281	0	2017	-15	3265	-25	0
289	0	2017	0	2561	-10	3233	-6	0
417	0	865	0	1793	-23	3233	-18	0
321	0	833	0	2337	-20	3329	-26	0
513	0	993	-9	2113	-28	3393	-37	82
577	0	1345	-18	2369	-24	3265	-45	0
449	0	1793	-26	2433	-22	3361	-59	0
449	0	865	-16	2369	-37	3329	-40	0
513	0	961	-16	2465	-47	3425	-50	0

609	0	1089	-13	2689	-23	3329	-16	7
609	0	1441	0	2497	-1	3329	-15	0
257	0	1953	-9	2401	-14	3297	-23	0
481	0	961	0	2849	-24	3329	-20	0
417	0	993	0	2945	-23	3393	-13	0
705	0	993	0	2209	-20	3169	-16	131
545	0	1441	0	2305	-5	3137	-15	0
385	0	2017	0	2465	0	3137	-12	0
545	0	897	0	2145	-20	3297	-12	0
545	0	1089	-20	2177	-23	3297	-21	0
609	0	1249	0	2209	-23	3297	-13	91
417	0	1345	-10	2305	-21	3233	-23	0
385	0	2081	-21	2433	-28	3329	-26	0
449	0	929	-18	2209	-32	3297	-41	0
417	0	1089	-15	2273	-28	3361	-23	0
513	0	1121	-8	2625	-17	3297	-11	128
481	0	1345	-8	2369	-14	3201	-15	0
321	0	1857	0	2369	0	3233	-9	0
449	0	1153	-10	2561	-30	3265	-21	0
289	0	801	-20	2625	-30	3105	-17	0
417	0	833	0	2561	-21	2657	-41	42
385	0	1345	-17	2305	-29	2753	-34	0
353	0	1697	-27	2209	-30	2881	-33	0
385	0	705	-3	2529	-34	2689	-33	0
353	0	769	-8	2529	-44	2721	-30	0
641	0	1057	0	2465	-4	3265	-20	151
513	0	1313	0	2241	0	2977	-12	0
321	-12	1665	-18	2305	0	3009	-21	0
577	0	1025	0	2465	-13	3233	-17	0
545	0	993	0	2401	0	3169	-9	0
577	0	1121	0	2081	-10	2529	-10	115
545	0	1505	0	2177	-11	2689	-10	0
385	-8	1761	0	2369	0	2497	0	0
513	0	993	0	2177	-8	2689	-7	0
481	0	897	0	1857	-5	2593	-16	0
705	0	1025	-3	2369	-5	2945	-8	109
481	0	1281	-11	2241	-7	3041	-19	0
449	-1	1601	0	2305	-2	2977	0	0
481	0	929	-9	2337	-6	3041	-16	0
673	0	1281	-14	2273	-14	3105	-7	0
545	0	1025	-3	2593	-3	2721	0	18
545	0	1281	-5	2401	0	2817	0	0
417	0	1729	0	2305	0	2817	-5	0
481	-4	897	-2	2625	0	2913	-12	0
481	0	993	-23	2657	-16	2977	-4	0
513	0	961	0	2625	-12	2881	-17	127
417	0	1345	0	2305	-4	2881	0	0
257	-7	1537	0	2145	0	2817	-6	0
353	0	769	0	2497	-16	2913	0	0
417	0	897	-3	2497	-9	2913	0	0
449	0	961	0	2593	-1	3041	-7	135
385	0	1345	0	2145	-5	2849	0	0
417	-4	1505	0	2177	-8	2785	0	0
481	0	897	0	2785	-6	3137	0	0
385	0	833	-8	2273	-20	2881	-2	0
641	0	929	0	2593	-29	2753	-29	36

545	-5	1217	0	2209	-23	2721	-21	0
417	-5	1665	0	2017	-8	2881	-21	0
641	-5	929	-25	2593	-48	2753	-29	0
641	-5	929	-25	2593	-48	2753	-29	0
513	0	993	-8	2529	-8	2721	-5	164
513	0	1089	-12	2369	-10	2657	-7	0
257	0	1761	-8	2785	-5	2913	0	0
481	0	833	-12	2593	-1	2817	-11	0
321	0	833	-20	2561	-4	2753	-9	0
545	0	929	-4	1953	-18	2913	-26	160
449	0	1313	-13	2177	-13	2817	-30	0
449	0	1729	0	2273	-7	2977	-24	0
449	0	897	-14	2241	-20	2945	-25	0
449	0	865	-14	2305	-17	2977	-27	0
673	0	1185	0	2529	-18	3265	-20	9
609	-1	1697	0	2401	0	3265	-15	0
417	0	1889	0	2337	0	3297	-14	0
449	0	1025	0	2433	-23	3137	-20	0
353	0	961	-6	1697	-2	3041	-21	0
577	-17	1185	-14	2849	-20	3009	-21	5
513	-5	1633	-25	2625	-24	3041	-20	0
417	-9	1921	-30	2433	-25	3137	-34	0
449	0	929	-12	2849	-19	3265	-22	0
449	-4	1025	-27	2785	-19	3105	-30	0
641	0	1217	0	2593	-12	3073	-16	105
577	0	1569	-7	2401	-6	3169	-11	0
385	0	2113	0	2465	0	3201	-14	0
641	0	1025	0	2593	-19	2881	-12	0
385	0	737	-1	2529	-10	2945	-20	0
577	0	1121	0	2753	0	3009	-10	96
449	0	1345	-4	2529	-2	3073	-15	0
449	0	1665	-9	2369	-11	3073	-10	0
513	0	1025	0	2721	-4	2945	-15	0
545	-6	929	0	2657	-18	3041	-14	0
673	0	1089	0	2337	-27	2945	-12	30
545	0	1345	-8	2369	-24	2881	-20	0
289	0	1633	-14	2113	-21	2945	-26	0
577	0	1121	-19	2337	-36	2817	-22	0
321	0	705	-13	2977	-31	3169	-29	0
577	0	1217	0	2497	-23	2977	-9	22
609	0	1537	0	2593	-6	2817	-16	0
257	0	1921	0	2369	-17	3137	-24	0
641	0	1217	0	2497	-27	2945	-28	0
417	0	1025	0	2689	-24	2913	-23	0
673	0	1153	0	2369	-2	3425	-11	97
609	0	1505	-6	2369	0	3457	-15	0
385	0	1921	0	2369	0	3681	-6	0
577	0	961	0	2209	-7	3393	-10	0
417	0	833	0	2369	-2	3361	-9	0
577	0	1121	0	2337	-18	3425	-19	58
545	0	1441	-10	2145	-18	3425	-23	0
321	0	1857	-4	2145	-19	3393	-29	0
481	0	993	0	2465	-24	3489	-17	0
417	0	865	-9	2209	-22	3425	-27	0
577	0	1185	-9	2369	-17	3361	-26	162
577	0	1697	-16	2593	-20	3457	-18	0

417	0	1889	-11	2529	-30	3521	-38	0
449	0	1057	-10	2593	-19	3393	-20	0
417	0	961	-8	2593	-24	3553	-43	0
609	0	1089	-4	2689	-30	3585	-33	4
513	0	1217	-16	2497	-22	3521	-36	0
481	-4	1665	-8	2401	-23	3393	-34	0
449	0	929	-5	2593	-34	3201	-36	0
385	0	833	0	2561	-25	3489	-37	0
449	0	993	0	2497	-34	3457	-30	114
385	0	1409	-8	2465	-23	3553	-28	0
353	0	1665	-18	2273	-36	3521	-33	0
545	0	929	0	2529	-35	3393	-24	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Συνολικός πίνακας τών αρχείων wav που αναλύθηκαν μέ τόν κωδικό αριθμό τους.

1	e:\tempvo\agko22\la_agk22.wav	10	e:\tempvo\sispa2h\la_sis2h.wav
0	e:\tempvo\agko22\le_agk22.wav	0	e:\tempvo\sispa2h\le_sis2h.wav
0	e:\tempvo\agko22\li_agk22.wav	0	e:\tempvo\sispa2h\li_sis2h.wav
0	e:\tempvo\agko22\lo_agk22.wav	0	e:\tempvo\sispa2h\lo_sis2h.wav
0	e:\tempvo\agko22\lu_agk22.wav	0	e:\tempvo\sispa2h\lu_sis2h.wav
2	e:\tempvo\himonas\la_himas.wav	11	e:\tempvo\agnik2p\la_agn2p.wav
0	e:\tempvo\himonas\le_himas.wav	0	e:\tempvo\agnik2p\le_agn2p.wav
0	e:\tempvo\himonas\li_himas.wav	0	e:\tempvo\agnik2p\li_agn2p.wav
0	e:\tempvo\himonas\lo_himas.wav	0	e:\tempvo\agnik2p\lo_agn2p.wav
0	e:\tempvo\himonas\lu_himas.wav	0	e:\tempvo\agnik2p\lu_agn2p.wav
3	e:\tempvo\psabele\la_psale.wav	12	e:\tempvo\danii1\la_dan1i.wav
0	e:\tempvo\psabele\le_psale.wav	0	e:\tempvo\danii1\le_dan1i.wav
0	e:\tempvo\psabele\li_psale.wav	0	e:\tempvo\danii1\li_dan1i.wav
0	e:\tempvo\psabele\lo_psale.wav	0	e:\tempvo\danii1\lo_dan1i.wav
0	e:\tempvo\psabele\lu_psale.wav	0	e:\tempvo\danii1\lu_dan1i.wav
4	e:\tempvo\firfir1\la_firr1.wav	13	e:\tempvo\grigori\la_griri.wav
0	e:\tempvo\firfir1\le_firr1.wav	0	e:\tempvo\grigori\le_griri.wav
0	e:\tempvo\firfir1\li_firr1.wav	0	e:\tempvo\grigori\li_griri.wav
0	e:\tempvo\firfir1\lo_firr1.wav	0	e:\tempvo\grigori\lo_griri.wav
0	e:\tempvo\firfir1\lu_firr1.wav	0	e:\tempvo\grigori\lu_griri.wav
5	e:\tempvo\giftogi\la_gifgi.wav	14	e:\tempvo\kesegis\la_kesis.wav
0	e:\tempvo\giftogi\le_gifgi.wav	0	e:\tempvo\kesegis\le_kesis.wav
0	e:\tempvo\giftogi\li_gifgi.wav	0	e:\tempvo\kesegis\li_kesis.wav
0	e:\tempvo\giftogi\lo_gifgi.wav	0	e:\tempvo\kesegis\lo_kesis.wav
0	e:\tempvo\giftogi\lu_gifgi.wav	0	e:\tempvo\kesegis\lu_kesis.wav
6	e:\tempvo\prigos4\la_pris4.wav	15	e:\tempvo\neragis\la_neris.wav
0	e:\tempvo\prigos4\le_pris4.wav	0	e:\tempvo\neragis\le_neris.wav
0	e:\tempvo\prigos4\li_pris4.wav	0	e:\tempvo\neragis\li_neris.wav
0	e:\tempvo\prigos4\lo_pris4.wav	0	e:\tempvo\neragis\lo_neris.wav
0	e:\tempvo\prigos4\lu_pris4.wav	0	e:\tempvo\neragis\lu_neris.wav
7	e:\tempvo\laminai\la_lamai.wav	16	e:\tempvo\panid3s\la_pan3s.wav
0	e:\tempvo\laminai\le_lamai.wav	0	e:\tempvo\panid3s\le_pan3s.wav
0	e:\tempvo\laminai\li_lamai.wav	0	e:\tempvo\panid3s\li_pan3s.wav
0	e:\tempvo\laminai\lo_lamai.wav	0	e:\tempvo\panid3s\lo_pan3s.wav
0	e:\tempvo\laminai\lu_lamai.wav	0	e:\tempvo\panid3s\lu_pan3s.wav
8	e:\tempvo\stansey\la_staey.wav	17	e:\tempvo\pxagel3\la_pxa3.wav
0	e:\tempvo\stansey\le_staey.wav	0	e:\tempvo\pxagel3\le_pxa3.wav
0	e:\tempvo\stansey\li_staey.wav	0	e:\tempvo\pxagel3\li_pxa3.wav
0	e:\tempvo\stansey\lo_staey.wav	0	e:\tempvo\pxagel3\lo_pxa3.wav
0	e:\tempvo\stansey\lu_staey.wav	0	e:\tempvo\pxagel3\lu_pxa3.wav
9	e:\tempvo\skiad3s\la_ski3s.wav	18	e:\tempvo\apasgi\la_apagi.wav
0	e:\tempvo\skiad3s\le_ski3s.wav	0	e:\tempvo\apasgi\le_apagi.wav
0	e:\tempvo\skiad3s\li_ski3s.wav	0	e:\tempvo\apasgi\li_apagi.wav
0	e:\tempvo\skiad3s\lo_ski3s.wav	0	e:\tempvo\apasgi\lo_apagi.wav
0	e:\tempvo\skiad3s\lu_ski3s.wav	0	e:\tempvo\apasgi\lu_apagi.wav

19	e:\tempvol\karts3n\la_kar3n.wav	29	e:\tempvol\agnik1p\la_agn1p.wav
0	e:\tempvol\karts3n\le_kar3n.wav	0	e:\tempvol\agnik1p\le_agn1p.wav
0	e:\tempvol\karts3n\li_kar3n.wav	0	e:\tempvol\agnik1p\li_agn1p.wav
0	e:\tempvol\karts3n\lo_kar3n.wav	0	e:\tempvol\agnik1p\lo_agn1p.wav
0	e:\tempvol\karts3n\lu_kar3n.wav	0	e:\tempvol\agnik1p\lu_agn1p.wav
20	e:\tempvol\theodo\la_thedo.wav	30	e:\tempvol\athing\la_athng.wav
0	e:\tempvol\theodo\le_thedo.wav	0	e:\tempvol\athing\le_athng.wav
0	e:\tempvol\theodo\li_thedo.wav	0	e:\tempvol\athing\li_athng.wav
0	e:\tempvol\theodo\lo_thedo.wav	0	e:\tempvol\athing\lo_athng.wav
0	e:\tempvol\theodo\lu_thedo.wav	0	e:\tempvol\athing\lu_athng.wav
21	e:\tempvol\pbereri\la_pberi.wav	31	e:\tempvol\agori1i\la_ago1i.wav
0	e:\tempvol\pbereri\le_pberi.wav	0	e:\tempvol\agori1i\le_ago1i.wav
0	e:\tempvol\pbereri\li_pberi.wav	0	e:\tempvol\agori1i\li_ago1i.wav
0	e:\tempvol\pbereri\lo_pberi.wav	0	e:\tempvol\agori1i\lo_ago1i.wav
0	e:\tempvol\pbereri\lu_pberi.wav	0	e:\tempvol\agori1i\lu_ago1i.wav
22	e:\tempvol\kalogir\la_kalir.wav	32	e:\tempvol\damian\la_daman.wav
0	e:\tempvol\kalogir\le_kalir.wav	0	e:\tempvol\damian\le_daman.wav
0	e:\tempvol\kalogir\li_kalir.wav	0	e:\tempvol\damian\li_daman.wav
0	e:\tempvol\kalogir\lo_kalir.wav	0	e:\tempvol\damian\lo_daman.wav
0	e:\tempvol\kalogir\lu_kalir.wav	0	e:\tempvol\damian\lu_daman.wav
23	e:\tempvol\karama2\la_kara2.wav	33	e:\tempvol\gerot4h\la_ger4h.wav
0	e:\tempvol\karama2\le_kara2.wav	0	e:\tempvol\gerot4h\le_ger4h.wav
0	e:\tempvol\karama2\li_kara2.wav	0	e:\tempvol\gerot4h\li_ger4h.wav
0	e:\tempvol\karama2\lo_kara2.wav	0	e:\tempvol\gerot4h\lo_ger4h.wav
0	e:\tempvol\karama2\lu_kara2.wav	0	e:\tempvol\gerot4h\lu_ger4h.wav
24	e:\tempvol\kartso1\la_karo1.wav	34	e:\tempvol\leona4d\la_leo4d.wav
0	e:\tempvol\kartso1\le_karo1.wav	0	e:\tempvol\leona4d\le_leo4d.wav
0	e:\tempvol\kartso1\li_karo1.wav	0	e:\tempvol\leona4d\li_leo4d.wav
0	e:\tempvol\kartso1\lo_karo1.wav	0	e:\tempvol\leona4d\lo_leo4d.wav
0	e:\tempvol\kartso1\lu_karo1.wav	0	e:\tempvol\leona4d\lu_leo4d.wav
25	e:\tempvol\taliat2\la_talt2.wav	35	e:\tempvol\maguris\la_magis.wav
0	e:\tempvol\taliat2\le_talt2.wav	0	e:\tempvol\maguris\le_magis.wav
0	e:\tempvol\taliat2\li_talt2.wav	0	e:\tempvol\maguris\li_magis.wav
0	e:\tempvol\taliat2\lo_talt2.wav	0	e:\tempvol\maguris\lo_magis.wav
0	e:\tempvol\taliat2\lu_talt2.wav	0	e:\tempvol\maguris\lu_magis.wav
26	e:\tempvol\theodos\la_theos.wav	36	e:\tempvol\maneas\la_manas.wav
0	e:\tempvol\theodos\le_theos.wav	0	e:\tempvol\maneas\le_manas.wav
0	e:\tempvol\theodos\li_theos.wav	0	e:\tempvol\maneas\li_manas.wav
0	e:\tempvol\theodos\lo_theos.wav	0	e:\tempvol\maneas\lo_manas.wav
0	e:\tempvol\theodos\lu_theos.wav	0	e:\tempvol\maneas\lu_manas.wav
27	e:\tempvol\tsats\la_tsats.wav	37	e:\tempvol\peris3e\la_per3e.wav
0	e:\tempvol\tsats\le_tsats.wav	0	e:\tempvol\peris3e\le_per3e.wav
0	e:\tempvol\tsats\li_tsats.wav	0	e:\tempvol\peris3e\li_per3e.wav
0	e:\tempvol\tsats\lo_tsats.wav	0	e:\tempvol\peris3e\lo_per3e.wav
0	e:\tempvol\tsats\lu_tsats.wav	0	e:\tempvol\peris3e\lu_per3e.wav
28	e:\tempvol\paiko\la_paiko.wav	38	e:\tempvol\perist2\la_pert2.wav
0	e:\tempvol\paiko\le_paiko.wav	0	e:\tempvol\perist2\le_pert2.wav
0	e:\tempvol\paiko\li_paiko.wav	0	e:\tempvol\perist2\li_pert2.wav
0	e:\tempvol\paiko\lo_paiko.wav	0	e:\tempvol\perist2\lo_pert2.wav
0	e:\tempvol\paiko\lu_paiko.wav	0	e:\tempvol\perist2\lu_pert2.wav

39	e:\tempvo\prigos2\la_pris2.wav	49	e:\tempvo\vakrida\la_vakda.wav
0	e:\tempvo\prigos2\le_pris2.wav	0	e:\tempvo\vakrida\le_vakda.wav
0	e:\tempvo\prigos2\li_pris2.wav	0	e:\tempvo\vakrida\li_vakda.wav
0	e:\tempvo\prigos2\lo_pris2.wav	0	e:\tempvo\vakrida\lo_vakda.wav
0	e:\tempvo\prigos2\lu_pris2.wav	0	e:\tempvo\vakrida\lu_vakda.wav
40	e:\tempvo\px3patr\la_px3tr.wav	50	e:\tempvo\dskal1d\la_dsk1d.wav
0	e:\tempvo\px3patr\le_px3tr.wav	0	e:\tempvo\dskal1d\le_dsk1d.wav
0	e:\tempvo\px3patr\li_px3tr.wav	0	e:\tempvo\dskal1d\li_dsk1d.wav
0	e:\tempvo\px3patr\lo_px3tr.wav	0	e:\tempvo\dskal1d\lo_dsk1d.wav
0	e:\tempvo\px3patr\lu_px3tr.wav	0	e:\tempvo\dskal1d\lu_dsk1d.wav
41	e:\tempvo\seret3s\la_ser3s.wav	51	e:\tempvo\ppara6s\la_ppa6s.wav
0	e:\tempvo\seret3s\le_ser3s.wav	0	e:\tempvo\ppara6s\le_ppa6s.wav
0	e:\tempvo\seret3s\li_ser3s.wav	0	e:\tempvo\ppara6s\li_ppa6s.wav
0	e:\tempvo\seret3s\lo_ser3s.wav	0	e:\tempvo\ppara6s\lo_ppa6s.wav
0	e:\tempvo\seret3s\lu_ser3s.wav	0	e:\tempvo\ppara6s\lu_ppa6s.wav
42	e:\tempvo\fpri2\la_fpri2.wav	52	e:\tempvo\1923_1a\la_1921a.wav
0	e:\tempvo\fpri2\le_fpri2.wav	0	e:\tempvo\1923_1a\le_1921a.wav
0	e:\tempvo\fpri2\li_fpri2.wav	0	e:\tempvo\1923_1a\li_1921a.wav
0	e:\tempvo\fpri2\lo_fpri2.wav	0	e:\tempvo\1923_1a\lo_1921a.wav
0	e:\tempvo\fpri2\lu_fpri2.wav	0	e:\tempvo\1923_1a\lu_1921a.wav
43	e:\tempvo\magur1s\la_mag1s.wav	53	e:\tempvo\1923_1c\la_1921c.wav
0	e:\tempvo\magur1s\le_mag1s.wav	0	e:\tempvo\1923_1c\le_1921c.wav
0	e:\tempvo\magur1s\li_mag1s.wav	0	e:\tempvo\1923_1c\li_1921c.wav
0	e:\tempvo\magur1s\lo_mag1s.wav	0	e:\tempvo\1923_1c\lo_1921c.wav
0	e:\tempvo\magur1s\lu_mag1s.wav	0	e:\tempvo\1923_1c\lu_1921c.wav
44	e:\tempvo\thoma2d\la_tho2d.wav	54	e:\tempvo\anatoli\la_anali.wav
0	e:\tempvo\thoma2d\le_tho2d.wav	0	e:\tempvo\anatoli\le_anali.wav
0	e:\tempvo\thoma2d\li_tho2d.wav	0	e:\tempvo\anatoli\li_anali.wav
0	e:\tempvo\thoma2d\lo_tho2d.wav	0	e:\tempvo\anatoli\lo_anali.wav
0	e:\tempvo\thoma2d\lu_tho2d.wav	0	e:\tempvo\anatoli\lu_anali.wav
45	e:\tempvo\nonis\la_nonis.wav	55	e:\tempvo\emanu1\la_ema1l.wav
0	e:\tempvo\nonis\le_nonis.wav	0	e:\tempvo\emanu1\le_ema1l.wav
0	e:\tempvo\nonis\li_nonis.wav	0	e:\tempvo\emanu1\li_ema1l.wav
0	e:\tempvo\nonis\lo_nonis.wav	0	e:\tempvo\emanu1\lo_ema1l.wav
0	e:\tempvo\nonis\lu_nonis.wav	0	e:\tempvo\emanu1\lu_ema1l.wav
46	e:\tempvo\parasho\la_parho.wav	56	e:\tempvo\hagop2u\la_hag2u.wav
0	e:\tempvo\parasho\le_parho.wav	0	e:\tempvo\hagop2u\le_hag2u.wav
0	e:\tempvo\parasho\li_parho.wav	0	e:\tempvo\hagop2u\li_hag2u.wav
0	e:\tempvo\parasho\lo_parho.wav	0	e:\tempvo\hagop2u\lo_hag2u.wav
0	e:\tempvo\parasho\lu_parho.wav	0	e:\tempvo\hagop2u\lu_hag2u.wav
47	e:\tempvo\vasikos\la_vasos.wav	57	e:\tempvo\leona6d\la_leo6d.wav
0	e:\tempvo\vasikos\le_vasos.wav	0	e:\tempvo\leona6d\le_leo6d.wav
0	e:\tempvo\vasikos\li_vasos.wav	0	e:\tempvo\leona6d\li_leo6d.wav
0	e:\tempvo\vasikos\lo_vasos.wav	0	e:\tempvo\leona6d\lo_leo6d.wav
0	e:\tempvo\vasikos\lu_vasos.wav	0	e:\tempvo\leona6d\lu_leo6d.wav
48	e:\tempvo\vasili3\la_vasi3.wav	58	e:\tempvo\mastros\la_masos.wav
0	e:\tempvo\vasili3\le_vasi3.wav	0	e:\tempvo\mastros\le_masos.wav
0	e:\tempvo\vasili3\li_vasi3.wav	0	e:\tempvo\mastros\li_masos.wav
0	e:\tempvo\vasili3\lo_vasi3.wav	0	e:\tempvo\mastros\lo_masos.wav
0	e:\tempvo\vasili3\lu_vasi3.wav	0	e:\tempvo\mastros\lu_masos.wav

59	e:\tempvo\minai1\la_min1i.wav	69	e:\tempvo\adriopula_adrpu.wav
0	e:\tempvo\minai1\le_min1i.wav	0	e:\tempvo\adriopule_adrpu.wav
0	e:\tempvo\minai1\li_min1i.wav	0	e:\tempvo\adriopuli_adrpu.wav
0	e:\tempvo\minai1\lo_min1i.wav	0	e:\tempvo\adriopulo_adrpu.wav
0	e:\tempvo\minai1\lu_min1i.wav	0	e:\tempvo\adriopulu_adrpu.wav
60	e:\tempvo\psamina\la_psana.wav	70	e:\tempvo\anatolla_anaol.wav
0	e:\tempvo\psamina\le_psana.wav	0	e:\tempvo\anatolle_anaol.wav
0	e:\tempvo\psamina\li_psana.wav	0	e:\tempvo\anatolli_anaol.wav
0	e:\tempvo\psamina\lo_psana.wav	0	e:\tempvo\anatollo_anaol.wav
0	e:\tempvo\psamina\lu_psana.wav	0	e:\tempvo\anatollu_anaol.wav
61	e:\tempvo\skiad\la_skias.wav	71	e:\tempvo\ddelvth\la_ddeth.wav
0	e:\tempvo\skiad\le_skias.wav	0	e:\tempvo\ddelvth\le_ddeth.wav
0	e:\tempvo\skiad\li_skias.wav	0	e:\tempvo\ddelvth\li_ddeth.wav
0	e:\tempvo\skiad\lo_skias.wav	0	e:\tempvo\ddelvth\lo_ddeth.wav
0	e:\tempvo\skiad\lu_skias.wav	0	e:\tempvo\ddelvth\lu_ddeth.wav
62	e:\tempvo\stanagd\la_stagd.wav	72	e:\tempvo\efraim\la_efrim.wav
0	e:\tempvo\stanagd\le_stagd.wav	0	e:\tempvo\efraim\le_efrim.wav
0	e:\tempvo\stanagd\li_stagd.wav	0	e:\tempvo\efraim\li_efrim.wav
0	e:\tempvo\stanagd\lo_stagd.wav	0	e:\tempvo\efraim\lo_efrim.wav
0	e:\tempvo\stanagd\lu_stagd.wav	0	e:\tempvo\efraim\lu_efrim.wav
63	e:\tempvo\valindr\la_valdr.wav	73	e:\tempvo\gerot2h\la_ger2h.wav
0	e:\tempvo\valindr\le_valdr.wav	0	e:\tempvo\gerot2h\le_ger2h.wav
0	e:\tempvo\valindr\li_valdr.wav	0	e:\tempvo\gerot2h\li_ger2h.wav
0	e:\tempvo\valindr\lo_valdr.wav	0	e:\tempvo\gerot2h\lo_ger2h.wav
0	e:\tempvo\valindr\lu_valdr.wav	0	e:\tempvo\gerot2h\lu_ger2h.wav
64	e:\tempvo\zervos\la_zeros.wav	74	e:\tempvo\kartso\la_karso.wav
0	e:\tempvo\zervos\le_zeros.wav	0	e:\tempvo\kartso\le_karso.wav
0	e:\tempvo\zervos\li_zeros.wav	0	e:\tempvo\kartso\li_karso.wav
0	e:\tempvo\zervos\lo_zeros.wav	0	e:\tempvo\kartso\lo_karso.wav
0	e:\tempvo\zervos\lu_zeros.wav	0	e:\tempvo\kartso\lu_karso.wav
65	e:\tempvo\zervos1\la_zers1.wav	75	e:\tempvo\kiria2o\la_kir2o.wav
0	e:\tempvo\zervos1\le_zers1.wav	0	e:\tempvo\kiria2o\le_kir2o.wav
0	e:\tempvo\zervos1\li_zers1.wav	0	e:\tempvo\kiria2o\li_kir2o.wav
0	e:\tempvo\zervos1\lo_zers1.wav	0	e:\tempvo\kiria2o\lo_kir2o.wav
0	e:\tempvo\zervos1\lu_zers1.wav	0	e:\tempvo\kiria2o\lu_kir2o.wav
66	e:\tempvo\floro1s\la_flo1s.wav	76	e:\tempvo\kiriako\la_kirko.wav
0	e:\tempvo\floro1s\le_flo1s.wav	0	e:\tempvo\kiriako\le_kirko.wav
0	e:\tempvo\floro1s\li_flo1s.wav	0	e:\tempvo\kiriako\li_kirko.wav
0	e:\tempvo\floro1s\lo_flo1s.wav	0	e:\tempvo\kiriako\lo_kirko.wav
0	e:\tempvo\floro1s\lu_flo1s.wav	0	e:\tempvo\kiriako\lu_kirko.wav
67	e:\tempvo\mafid2s\la_maf2s.wav	77	e:\tempvo\mane2s\la_man2s.wav
0	e:\tempvo\mafid2s\le_maf2s.wav	0	e:\tempvo\mane2s\le_man2s.wav
0	e:\tempvo\mafid2s\li_maf2s.wav	0	e:\tempvo\mane2s\li_man2s.wav
0	e:\tempvo\mafid2s\lo_maf2s.wav	0	e:\tempvo\mane2s\lo_man2s.wav
0	e:\tempvo\mafid2s\lu_maf2s.wav	0	e:\tempvo\mane2s\lu_man2s.wav
68	e:\tempvo\psapet\la_psaet.wav	78	e:\tempvo\panid2s\la_pan2s.wav
0	e:\tempvo\psapet\le_psaet.wav	0	e:\tempvo\panid2s\le_pan2s.wav
0	e:\tempvo\psapet\li_psaet.wav	0	e:\tempvo\panid2s\li_pan2s.wav
0	e:\tempvo\psapet\lo_psaet.wav	0	e:\tempvo\panid2s\lo_pan2s.wav
0	e:\tempvo\psapet\lu_psaet.wav	0	e:\tempvo\panid2s\lu_pan2s.wav

79	e:\tempvo\papaspi\la_pappi.wav	89	e:\tempvo\naupl5i\la_nau5i.wav
0	e:\tempvo\papaspi\le_pappi.wav	0	e:\tempvo\naupl5i\le_nau5i.wav
0	e:\tempvo\papaspi\li_pappi.wav	0	e:\tempvo\naupl5i\li_nau5i.wav
0	e:\tempvo\papaspi\lo_pappi.wav	0	e:\tempvo\naupl5i\lo_nau5i.wav
0	e:\tempvo\papaspi\lu_pappi.wav	0	e:\tempvo\naupl5i\lu_nau5i.wav
80	e:\tempvo\pthomas\la_pthas.wav	90	e:\tempvo\sfika1\la_sfi1s.wav
0	e:\tempvo\pthomas\le_pthas.wav	0	e:\tempvo\sfika1\le_sfi1s.wav
0	e:\tempvo\pthomas\li_pthas.wav	0	e:\tempvo\sfika1\li_sfi1s.wav
0	e:\tempvo\pthomas\lo_pthas.wav	0	e:\tempvo\sfika1\lo_sfi1s.wav
0	e:\tempvo\pthomas\lu_pthas.wav	0	e:\tempvo\sfika1\lu_sfi1s.wav
81	e:\tempvo\sirka2s\la_sir2s.wav	91	f:\dimi\bereris\la_beris.wav
0	e:\tempvo\sirka2s\le_sir2s.wav	0	f:\dimi\bereris\le_beris.wav
0	e:\tempvo\sirka2s\li_sir2s.wav	0	f:\dimi\bereris\li_beris.wav
0	e:\tempvo\sirka2s\lo_sir2s.wav	0	f:\dimi\bereris\lo_beris.wav
0	e:\tempvo\sirka2s\lu_sir2s.wav	0	f:\dimi\bereris\lu_beris.wav
82	e:\tempvo\stamuli\la_stali.wav	92	e:\tempvo\skara2s\la_ska2s.wav
0	e:\tempvo\stamuli\le_stali.wav	0	e:\tempvo\skara2s\le_ska2s.wav
0	e:\tempvo\stamuli\li_stali.wav	0	e:\tempvo\skara2s\li_ska2s.wav
0	e:\tempvo\stamuli\lo_stali.wav	0	e:\tempvo\skara2s\lo_ska2s.wav
0	e:\tempvo\stamuli\lu_stali.wav	0	e:\tempvo\skara2s\lu_ska2s.wav
83	e:\tempvo\sumari\la_tsuri.wav	93	e:\tempvo\mafidis\la_mafis.wav
0	e:\tempvo\sumari\le_tsuri.wav	0	e:\tempvo\mafidis\le_mafis.wav
0	e:\tempvo\sumari\li_tsuri.wav	0	e:\tempvo\mafidis\li_mafis.wav
0	e:\tempvo\sumari\lo_tsuri.wav	0	e:\tempvo\mafidis\lo_mafis.wav
0	e:\tempvo\sumari\lu_tsuri.wav	0	e:\tempvo\mafidis\lu_mafis.wav
84	e:\tempvo\ekfonis\la_ekfis.wav	94	e:\tempvo\mut1glu\la_mutlu.wav
0	e:\tempvo\ekfonis\le_ekfis.wav	0	e:\tempvo\mut1glu\le_mutlu.wav
0	e:\tempvo\ekfonis\li_ekfis.wav	0	e:\tempvo\mut1glu\li_mutlu.wav
0	e:\tempvo\ekfonis\lo_ekfis.wav	0	e:\tempvo\mut1glu\lo_mutlu.wav
0	e:\tempvo\ekfonis\lu_ekfis.wav	0	e:\tempvo\mut1glu\lu_mutlu.wav
85	e:\tempvo\psalet1\la_psat1.wav	95	e:\tempvo\prevs1s\la_pre1s.wav
0	e:\tempvo\psalet1\le_psat1.wav	0	e:\tempvo\prevs1s\le_pre1s.wav
0	e:\tempvo\psalet1\li_psat1.wav	0	e:\tempvo\prevs1s\li_pre1s.wav
0	e:\tempvo\psalet1\lo_psat1.wav	0	e:\tempvo\prevs1s\lo_pre1s.wav
0	e:\tempvo\psalet1\lu_psat1.wav	0	e:\tempvo\prevs1s\lu_pre1s.wav
86	e:\tempvo\mitros\la_mitos.wav	96	e:\tempvo\agkon1\la_agkn1.wav
0	e:\tempvo\mitros\le_mitos.wav	0	e:\tempvo\agkon1\le_agkn1.wav
0	e:\tempvo\mitros\li_mitos.wav	0	e:\tempvo\agkon1\li_agkn1.wav
0	e:\tempvo\mitros\lo_mitos.wav	0	e:\tempvo\agkon1\lo_agkn1.wav
0	e:\tempvo\mitros\lu_mitos.wav	0	e:\tempvo\agkon1\lu_agkn1.wav
87	e:\tempvo\1923_2a\la_1922a.wav	97	e:\tempvo\darav1n\la_dar1n.wav
0	e:\tempvo\1923_2a\le_1922a.wav	0	e:\tempvo\darav1n\le_dar1n.wav
0	e:\tempvo\1923_2a\li_1922a.wav	0	e:\tempvo\darav1n\li_dar1n.wav
0	e:\tempvo\1923_2a\lo_1922a.wav	0	e:\tempvo\darav1n\lo_dar1n.wav
0	e:\tempvo\1923_2a\lu_1922a.wav	0	e:\tempvo\darav1n\lu_dar1n.wav
88	e:\tempvo\berer1s\la_ber1s.wav	98	e:\tempvo\dimi1\la_dimt1.wav
0	e:\tempvo\berer1s\le_ber1s.wav	0	e:\tempvo\dimi1\le_dimt1.wav
0	e:\tempvo\berer1s\li_ber1s.wav	0	e:\tempvo\dimi1\li_dimt1.wav
0	e:\tempvo\berer1s\lo_ber1s.wav	0	e:\tempvo\dimi1\lo_dimt1.wav
0	e:\tempvo\berer1s\lu_ber1s.wav	0	e:\tempvo\dimi1\lu_dimt1.wav

99	e:\tempvo\hagimbk\la_hagbk.wav	109	e:\tempvo\ddelvin\la_ddein.wav
0	e:\tempvo\hagimbk\le_hagbk.wav	0	e:\tempvo\ddelvin\le_ddein.wav
0	e:\tempvo\hagimbk\li_hagbk.wav	0	e:\tempvo\ddelvin\li_ddein.wav
0	e:\tempvo\hagimbk\lo_hagbk.wav	0	e:\tempvo\ddelvin\lo_ddein.wav
0	e:\tempvo\hagimbk\lu_hagbk.wav	0	e:\tempvo\ddelvin\lu_ddein.wav
100	e:\tempvo\moikad\la_moiad.wav	110	e:\tempvo\lekfon1sla_ekf1s.wav
0	e:\tempvo\moikad\le_moiad.wav	0	e:\tempvo\lekfon1sle_ekf1s.wav
0	e:\tempvo\moikad\li_moiad.wav	0	e:\tempvo\lekfon1sli_ekf1s.wav
0	e:\tempvo\moikad\lo_moiad.wav	0	e:\tempvo\lekfon1slo_ekf1s.wav
0	e:\tempvo\moikad\lu_moiad.wav	0	e:\tempvo\lekfon1slu_ekf1s.wav
101	e:\tempvo\padap81\la_pad81.wav	111	e:\tempvo\hagimk1\la_hagk1.wav
0	e:\tempvo\padap81\le_pad81.wav	0	e:\tempvo\hagimk1\le_hagk1.wav
0	e:\tempvo\padap81\li_pad81.wav	0	e:\tempvo\hagimk1\li_hagk1.wav
0	e:\tempvo\padap81\lo_pad81.wav	0	e:\tempvo\hagimk1\lo_hagk1.wav
0	e:\tempvo\padap81\lu_pad81.wav	0	e:\tempvo\hagimk1\lu_hagk1.wav
102	e:\tempvo\padop41\la_pad41.wav	112	e:\tempvo\ifandis\la_ifais.wav
0	e:\tempvo\padop41\le_pad41.wav	0	e:\tempvo\ifandis\le_ifais.wav
0	e:\tempvo\padop41\li_pad41.wav	0	e:\tempvo\ifandis\li_ifais.wav
0	e:\tempvo\padop41\lo_pad41.wav	0	e:\tempvo\ifandis\lo_ifais.wav
0	e:\tempvo\padop41\lu_pad41.wav	0	e:\tempvo\ifandis\lu_ifais.wav
103	e:\tempvo\padop31\la_pad31.wav	113	e:\tempvo\jamkira\la_jamra.wav
0	e:\tempvo\padop31\le_pad31.wav	0	e:\tempvo\jamkira\le_jamra.wav
0	e:\tempvo\padop31\li_pad31.wav	0	e:\tempvo\jamkira\li_jamra.wav
0	e:\tempvo\padop31\lo_pad31.wav	0	e:\tempvo\jamkira\lo_jamra.wav
0	e:\tempvo\padop31\lu_pad31.wav	0	e:\tempvo\jamkira\lu_jamra.wav
104	e:\tempvo\patagkn\la_patkn.wav	114	e:\tempvo\peristela\perte.wav
0	e:\tempvo\patagkn\le_patkn.wav	0	e:\tempvo\peristele\perte.wav
0	e:\tempvo\patagkn\li_patkn.wav	0	e:\tempvo\peristeli\perte.wav
0	e:\tempvo\patagkn\lo_patkn.wav	0	e:\tempvo\peristelo\perte.wav
0	e:\tempvo\patagkn\lu_patkn.wav	0	e:\tempvo\peristel\lu_perte.wav
105	e:\tempvo\px4pa1r\la_px41r.wav	115	e:\tempvo\px1patr\la_px1tr.wav
0	e:\tempvo\px4pa1r\le_px41r.wav	0	e:\tempvo\px1patr\le_px1tr.wav
0	e:\tempvo\px4pa1r\li_px41r.wav	0	e:\tempvo\px1patr\li_px1tr.wav
0	e:\tempvo\px4pa1r\lo_px41r.wav	0	e:\tempvo\px1patr\lo_px1tr.wav
0	e:\tempvo\px4pa1r\lu_px41r.wav	0	e:\tempvo\px1patr\lu_px1tr.wav
106	e:\tempvo\apostola\apool.wav	116	e:\tempvo\pxagel4\la_pxa4.wav
0	e:\tempvo\apostola\le_apool.wav	0	e:\tempvo\pxagel4\le_pxa4.wav
0	e:\tempvo\apostola\li_apool.wav	0	e:\tempvo\pxagel4\li_pxa4.wav
0	e:\tempvo\apostola\lo_apool.wav	0	e:\tempvo\pxagel4\lo_pxa4.wav
0	e:\tempvo\apostola\lu_apool.wav	0	e:\tempvo\pxagel4\lu_pxa4.wav
107	e:\tempvo\apstola\la_apsla.wav	117	e:\tempvo\pxagel5\la_pxa5.wav
0	e:\tempvo\apstola\le_apsla.wav	0	e:\tempvo\pxagel5\le_pxa5.wav
0	e:\tempvo\apstola\li_apsla.wav	0	e:\tempvo\pxagel5\li_pxa5.wav
0	e:\tempvo\apstola\lo_apsla.wav	0	e:\tempvo\pxagel5\lo_pxa5.wav
0	e:\tempvo\apstola\lu_apsla.wav	0	e:\tempvo\pxagel5\lu_pxa5.wav
108	e:\tempvo\daravan\la_daran.wav	118	e:\tempvo\vurli1sla_vur1s.wav
0	e:\tempvo\daravan\le_daran.wav	0	e:\tempvo\vurli1sle_vur1s.wav
0	e:\tempvo\daravan\li_daran.wav	0	e:\tempvo\vurli1sli_vur1s.wav
0	e:\tempvo\daravan\lo_daran.wav	0	e:\tempvo\vurli1slo_vur1s.wav
0	e:\tempvo\daravan\lu_daran.wav	0	e:\tempvo\vurli1slu_vur1s.wav

119	e:\tempvo\pxagel2\la_pxa12.wav	129	e:\tempvo\nikol3\la_nik3i.wav
0	e:\tempvo\pxagel2\le_pxa12.wav	0	e:\tempvo\nikol3\le_nik3i.wav
0	e:\tempvo\pxagel2\li_pxa12.wav	0	e:\tempvo\nikol3\li_nik3i.wav
0	e:\tempvo\pxagel2\lo_pxa12.wav	0	e:\tempvo\nikol3\lo_nik3i.wav
0	e:\tempvo\pxagel2\lu_pxa12.wav	0	e:\tempvo\nikol3\lu_nik3i.wav
120	e:\tempvo\paraskela_parke.wav	130	e:\tempvo\pappa2h\la_pap2h.wav
0	e:\tempvo\paraskela_le_parke.wav	0	e:\tempvo\pappa2h\le_pap2h.wav
0	e:\tempvo\paraskela_li_parke.wav	0	e:\tempvo\pappa2h\li_pap2h.wav
0	e:\tempvo\paraskela_lo_parke.wav	0	e:\tempvo\pappa2h\lo_pap2h.wav
0	e:\tempvo\paraskela_lu_parke.wav	0	e:\tempvo\pappa2h\lu_pap2h.wav
121	e:\tempvo\xkaras\la_xkaas.wav	131	e:\tempvo\menegas\la_menas.wav
0	e:\tempvo\xkaras\le_xkaas.wav	0	e:\tempvo\menegas\le_menas.wav
0	e:\tempvo\xkaras\li_xkaas.wav	0	e:\tempvo\menegas\li_menas.wav
0	e:\tempvo\xkaras\lo_xkaas.wav	0	e:\tempvo\menegas\lo_menas.wav
0	e:\tempvo\xkaras\lu_xkaas.wav	0	e:\tempvo\menegas\lu_menas.wav
122	e:\tempvo\hagi13\la_hag3a.wav	132	e:\tempvo\petta2s\la_pet2s.wav
0	e:\tempvo\hagi13\le_hag3a.wav	0	e:\tempvo\petta2s\le_pet2s.wav
0	e:\tempvo\hagi13\li_hag3a.wav	0	e:\tempvo\petta2s\li_pet2s.wav
0	e:\tempvo\hagi13\lo_hag3a.wav	0	e:\tempvo\petta2s\lo_pet2s.wav
0	e:\tempvo\hagi13\lu_hag3a.wav	0	e:\tempvo\petta2s\lu_pet2s.wav
123	e:\tempvo\baurda\la_bauda.wav	133	e:\tempvo\papikon\la_papon.wav
0	e:\tempvo\baurda\le_bauda.wav	0	e:\tempvo\papikon\le_papon.wav
0	e:\tempvo\baurda\li_bauda.wav	0	e:\tempvo\papikon\li_papon.wav
0	e:\tempvo\baurda\lo_bauda.wav	0	e:\tempvo\papikon\lo_papon.wav
0	e:\tempvo\baurda\lu_bauda.wav	0	e:\tempvo\papikon\lu_papon.wav
124	e:\tempvo\psapi1e\la_psa1e.wav	134	e:\tempvo\agfilo\la_agflo.wav
0	e:\tempvo\psapi1e\le_psa1e.wav	0	e:\tempvo\agfilo\le_agflo.wav
0	e:\tempvo\psapi1e\li_psa1e.wav	0	e:\tempvo\agfilo\li_agflo.wav
0	e:\tempvo\psapi1e\lo_psa1e.wav	0	e:\tempvo\agfilo\lo_agflo.wav
0	e:\tempvo\psapi1e\lu_psa1e.wav	0	e:\tempvo\agfilo\lu_agflo.wav
125	e:\tempvo\agorivi\la_agovi.wav	135	e:\tempvo\kutas\la_kutas.wav
0	e:\tempvo\agorivi\le_agovi.wav	0	e:\tempvo\kutas\le_kutas.wav
0	e:\tempvo\agorivi\li_agovi.wav	0	e:\tempvo\kutas\li_kutas.wav
0	e:\tempvo\agorivi\lo_agovi.wav	0	e:\tempvo\kutas\lo_kutas.wav
0	e:\tempvo\agorivi\lu_agovi.wav	0	e:\tempvo\kutas\lu_kutas.wav
126	e:\tempvo\aster1s\la_ast1s.wav	136	e:\tempvo\parasar\la_parar.wav
0	e:\tempvo\aster1s\le_ast1s.wav	0	e:\tempvo\parasar\le_parar.wav
0	e:\tempvo\aster1s\li_ast1s.wav	0	e:\tempvo\parasar\li_parar.wav
0	e:\tempvo\aster1s\lo_ast1s.wav	0	e:\tempvo\parasar\lo_parar.wav
0	e:\tempvo\aster1s\lu_ast1s.wav	0	e:\tempvo\parasar\lu_parar.wav
127	e:\tempvo\daskal\la_dasal.wav	137	f:\dimi\fotopul\la_fotul.wav
0	e:\tempvo\daskal\le_dasal.wav	0	f:\dimi\fotopul\le_fotul.wav
0	e:\tempvo\daskal\li_dasal.wav	0	f:\dimi\fotopul\li_fotul.wav
0	e:\tempvo\daskal\lo_dasal.wav	0	f:\dimi\fotopul\lo_fotul.wav
0	e:\tempvo\daskal\lu_dasal.wav	0	f:\dimi\fotopul\lu_fotul.wav
128	e:\tempvo\arparah\la_arpah.wav	138	f:\dimi\apergis\la_apeis.wav
0	e:\tempvo\arparah\le_arpah.wav	0	f:\dimi\apergis\le_apeis.wav
0	e:\tempvo\arparah\li_arpah.wav	0	f:\dimi\apergis\li_apeis.wav
0	e:\tempvo\arparah\lo_arpah.wav	0	f:\dimi\apergis\lo_apeis.wav
0	e:\tempvo\arparah\lu_arpah.wav	0	f:\dimi\apergis\lu_apeis.wav

139	f:\dimi\pgiorgi\la_pgigi.wav	149	f:\dimi\delvini\la_delni.wav
0	f:\dimi\pgiorgi\le_pgigi.wav	0	f:\dimi\delvini\le_delni.wav
0	f:\dimi\pgiorgi\li_pgigi.wav	0	f:\dimi\delvini\li_delni.wav
0	f:\dimi\pgiorgi\lo_pgigi.wav	0	f:\dimi\delvini\lo_delni.wav
0	f:\dimi\pgiorgi\lu_pgigi.wav	0	f:\dimi\delvini\lu_delni.wav
140	f:\dimi\prig_2s\la_pri2s.wav	150	f:\dimi\fotopula_fotpu.wav
0	f:\dimi\prig_2s\le_pri2s.wav	0	f:\dimi\fotopule_fotpu.wav
0	f:\dimi\prig_2s\li_pri2s.wav	0	f:\dimi\fotopuli_fotpu.wav
0	f:\dimi\prig_2s\lo_pri2s.wav	0	f:\dimi\fotopulo_fotpu.wav
0	f:\dimi\prig_2s\lu_pri2s.wav	0	f:\dimi\fotopulu_fotpu.wav
141	f:\dimi\apostxx\la_apoxx.wav	151	f:\dimi\petroni\la_petni.wav
0	f:\dimi\apostxx\le_apoxx.wav	0	f:\dimi\petroni\le_petni.wav
0	f:\dimi\apostxx\li_apoxx.wav	0	f:\dimi\petroni\li_petni.wav
0	f:\dimi\apostxx\lo_apoxx.wav	0	f:\dimi\petroni\lo_petni.wav
0	f:\dimi\apostxx\lu_apoxx.wav	0	f:\dimi\petroni\lu_petni.wav
142	f:\dimi\nikod2m\la_nik2m.wav	152	f:\dimi\ikono5u\la_iko5u.wav
0	f:\dimi\nikod2m\le_nik2m.wav	0	f:\dimi\ikono5u\le_iko5u.wav
0	f:\dimi\nikod2m\li_nik2m.wav	0	f:\dimi\ikono5u\li_iko5u.wav
0	f:\dimi\nikod2m\lo_nik2m.wav	0	f:\dimi\ikono5u\lo_iko5u.wav
0	f:\dimi\nikod2m\lu_nik2m.wav	0	f:\dimi\ikono5u\lu_iko5u.wav
143	f:\dimi\padap11\la_pad11.wav	153	f:\dimi\konpsalla_konal.wav
0	f:\dimi\padap11\le_pad11.wav	0	f:\dimi\konpsalle_konal.wav
0	f:\dimi\padap11\li_pad11.wav	0	f:\dimi\konpsalli_konal.wav
0	f:\dimi\padap11\lo_pad11.wav	0	f:\dimi\konpsallo_konal.wav
0	f:\dimi\padap11\lu_pad11.wav	0	f:\dimi\konpsallu_konal.wav
144	f:\dimi\kayko1u\la_kay1u.wav	154	f:\dimi\pakakiola_pakio.wav
0	f:\dimi\kayko1u\le_kay1u.wav	0	f:\dimi\pakakiole_pakio.wav
0	f:\dimi\kayko1u\li_kay1u.wav	0	f:\dimi\pakakioli_pakio.wav
0	f:\dimi\kayko1u\lo_kay1u.wav	0	f:\dimi\pakakiolo_pakio.wav
0	f:\dimi\kayko1u\lu_kay1u.wav	0	f:\dimi\pakakiolu_pakio.wav
145	f:\dimi\susun3i\la_sus3i.wav	155	f:\dimi\apapahr\la_apahr.wav
0	f:\dimi\susun3i\le_sus3i.wav	0	f:\dimi\apapahr\le_apahr.wav
0	f:\dimi\susun3i\li_sus3i.wav	0	f:\dimi\apapahr\li_apahr.wav
0	f:\dimi\susun3i\lo_sus3i.wav	0	f:\dimi\apapahr\lo_apahr.wav
0	f:\dimi\susun3i\lu_sus3i.wav	0	f:\dimi\apapahr\lu_apahr.wav
146	f:\dimi\sirka3s\la_sir3s.wav	156	e:\tempvo\karaam\la_karam.wav
0	f:\dimi\sirka3s\le_sir3s.wav	0	e:\tempvo\karaam\le_karam.wav
0	f:\dimi\sirka3s\li_sir3s.wav	0	e:\tempvo\karaam\li_karam.wav
0	f:\dimi\sirka3s\lo_sir3s.wav	0	e:\tempvo\karaam\lo_karam.wav
0	f:\dimi\sirka3s\lu_sir3s.wav	0	e:\tempvo\karaam\lu_karam.wav
147	f:\dimi\bereris\la_beris.wav	157	e:\tempvo\dami1n\la_dam1n.wav
0	f:\dimi\bereris\le_beris.wav	0	e:\tempvo\dami1n\le_dam1n.wav
0	f:\dimi\bereris\li_beris.wav	0	e:\tempvo\dami1n\li_dam1n.wav
0	f:\dimi\bereris\lo_beris.wav	0	e:\tempvo\dami1n\lo_dam1n.wav
0	f:\dimi\bereris\lu_beris.wav	0	e:\tempvo\dami1n\lu_dam1n.wav
148	f:\dimi\kehajopla_kehop.wav	158	e:\tempvo\kaku1i\la_kak1i.wav
0	f:\dimi\kehajop\le_kehop.wav	0	e:\tempvo\kaku1i\le_kak1i.wav
0	f:\dimi\kehajop\li_kehop.wav	0	e:\tempvo\kaku1i\li_kak1i.wav
0	f:\dimi\kehajop\lo_kehop.wav	0	e:\tempvo\kaku1i\lo_kak1i.wav
0	f:\dimi\kehajop\lu_kehop.wav	0	e:\tempvo\kaku1i\lu_kak1i.wav

159 e:\tempvo\kakudi\la_kakdi.wav
 0 e:\tempvo\kakudi\le_kakdi.wav
 0 e:\tempvo\kakudi\li_kakdi.wav
 0 e:\tempvo\kakudi\lo_kakdi.wav
 0 e:\tempvo\kakudi\lu_kakdi.wav
 160 e:\tempvo\stanm1a\la_sta1a.wav
 0 e:\tempvo\stanm1a\le_sta1a.wav
 0 e:\tempvo\stanm1a\li_sta1a.wav
 0 e:\tempvo\stanm1a\lo_sta1a.wav
 0 e:\tempvo\stanm1a\lu_sta1a.wav
 161 e:\tempvo\bad--is\la_badis.wav
 0 e:\tempvo\bad--is\le_badis.wav
 0 e:\tempvo\bad--is\li_badis.wav
 0 e:\tempvo\bad--is\lo_badis.wav
 0 e:\tempvo\bad--is\lu_badis.wav
 162 e:\tempvo\psagiok\la_psaok.wav
 0 e:\tempvo\psagiok\le_psaok.wav
 0 e:\tempvo\psagiok\li_psaok.wav
 0 e:\tempvo\psagiok\lo_psaok.wav
 0 e:\tempvo\psagiok\lu_psaok.wav
 163 e:\tempvo\hser1i\la_hse1i.wav
 0 e:\tempvo\hser1i\le_hse1i.wav
 0 e:\tempvo\hser1i\li_hse1i.wav
 0 e:\tempvo\hser1i\lo_hse1i.wav
 0 e:\tempvo\hser1i\lu_hse1i.wav

164 f:\dimi\labroro\la_labro.wav
 0 f:\dimi\labroro\le_labro.wav
 0 f:\dimi\labroro\li_labro.wav
 0 f:\dimi\labroro\lo_labro.wav
 0 f:\dimi\labroro\lu_labro.wav
 165 f:\dimi\psahahr\la_psahr.wav
 0 f:\dimi\psahahr\le_psahr.wav
 0 f:\dimi\psahahr\li_psahr.wav
 0 f:\dimi\psahahr\lo_psahr.wav
 0 f:\dimi\psahahr\lu_psahr.wav
 166 f:\dimi\tsinna\la_tsina.wav
 0 f:\dimi\tsinna\le_tsina.wav
 0 f:\dimi\tsinna\li_tsina.wav
 0 f:\dimi\tsinna\lo_tsina.wav
 0 f:\dimi\tsinna\lu_tsina.wav
 167 e:\tempvo\dask2i\la_das2i.wav
 0 e:\tempvo\dask2i\le_das2i.wav
 0 e:\tempvo\dask2i\li_das2i.wav
 0 e:\tempvo\dask2i\lo_das2i.wav
 0 e:\tempvo\dask2i\lu_das2i.wav
 168 e:\tempvo\hser3i\la_hse3i.wav
 0 e:\tempvo\hser3i\le_hse3i.wav
 0 e:\tempvo\hser3i\li_hse3i.wav
 0 e:\tempvo\hser3i\lo_hse3i.wav
 0 e:\tempvo\hser3i\lu_hse3i.wav
 169 e:\tempvo\nuredi1\la_nuri1.wav
 0 e:\tempvo\nuredi1\le_nuri1.wav
 0 e:\tempvo\nuredi1\li_nuri1.wav
 0 e:\tempvo\nuredi1\lo_nuri1.wav

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

ΡΟΥΤΙΝΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Ρουτίνα1 Modified covariance

```
function a = modcov2(x,P)
[l,n]=size(x);
if l == 1 ,
xn = conj(x');
x = xn;
end;
N = length(x);
roo = 2*x'*x;
pfb2 = roo-x(1)*conj(x(1))-x(N)*conj(x(N));
c = x(N)/roo;
d = conj(x(1))/roo;
la = conj(x(1))*conj(x(N))/roo;
de = 1-x(1)*conj(x(1))/roo;
ga = 1-x(N)*conj(x(N))/roo;
th = x(N)*d;
ph = x(N)*c;
ks = conj(x(1))*d;
DEN = ga*de-conj(la)*la;
a2 = (th*conj(la)+ph*de)/DEN;
b2 = (ph*la+th*ga)/DEN;
a3 = (ks*conj(la)+th*de)/DEN;
b3 = (th*la+ks*ga)/DEN;
temp = ga;
ga = ga-(ph*conj(ph)*de+th*conj(th)*ga+2*real(ph*la*conj(th)))/DEN;
de = de-(th*conj(th)*de+ks*conj(ks)*temp+2*real(th*la*conj(ks)))/DEN;
la = la+a3*conj(ph)+b3*conj(th);
temp = c;
c = c+a2*flipud(conj(c))+b2*flipud(conj(d));
d = d+a3*flipud(conj(temp))+b3*flipud(conj(d));
afb2 = 1;

for m=1:P,
rop = 2*x(m+1:N)'*x(1:N-m);
xpN = flipud(x(N-m:N));
xp1 = flipud(x(1:m+1));
if m == 1
rp = [];
else
rp = rp-x(N+1-m)*conj(flipud(x(N-m+2:N)))-conj(x(m))*x(1:m-1);
end
rp = [rop;rp];
```

```

% ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ rp ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ
% rkp1 = [];
% for k = 0:1:m-1
% rkp = x(m+1-k:N-k)*x(1:N-m)+x(m+1:N)*x(1+k:N-m+k);
% rkp1 = [rkp1;rkp];
% end

Dp = rp'*afb2;
afm = -Dp/pfb2;
pfb = pfb2-Dp*conj(Dp)/pfb2;
if pfb < 0,error('Αρνητική διασπορά pfb!'),end;

afb = [afb2;0]+afm*[0;flipud(conj(afb2))];

efm = conj(xp1')*afb;
ebN = conj(xpN')*conj(flipud(afb));

DEN = ga*de-la*conj(la);
if DEN < 0,error('Αρνητική DEN !');
elseif DEN > 1,error('DEN μεγαλύτερη του 1 !'),end;

pfb2 = pfb-(ebN*conj(ebN)*de+efm*conj(efm)*ga+2*real(efm*ebN*la))/DEN;
if pfb2 < 0,error('Αρνητική διασπορά pfb2!'),end;

a1 = (conj(ebN)*de+efm*la)/DEN;
b1 = (efm*ga+conj(ebN)*conj(la))/DEN;
afb2 = afb+a1*[0;c]+b1*[0;d];

cmo = ebN/pfb;
c = [0;c]+cmo*afb;
dmo = conj(efm)/pfb;
d = [0;d]+dmo*afb;

ga = ga-ebN*conj(ebN)/pfb;
if ga < 0,error('Αρνητικό γ !');
elseif ga > 1,error('γ μεγαλύτερο του 1 !'),end;

de = de-efm*conj(efm)/pfb;
if de < 0,error('Αρνητικό δ !');
elseif de > 1,error('δ μεγαλύτερο του 1 !'),end;

la = la+conj(efm*ebN)/pfb;;

th = conj(xpN')*d;
ph = conj(xpN')*c;
ks = (xp1')*flipud(d);

```

```

DEN = ga*de-conj(la)*la;
a2 = (th*conj(la)+ph*de)/DEN;
b2 = (ph*la+th*ga)/DEN;
a3 = (ks*conj(la)+th*de)/DEN;
b3 = (th*la+ks*ga)/DEN;
temp = ga;
ga = ga-(ph*conj(ph)*de+th*conj(th)*ga+2*real(ph*la*conj(th)))/DEN;
de = de-(th*conj(th)*de+ks*conj(ks)*temp+2*real(th*la*conj(ks)))/DEN;
la = la+a3*conj(ph)+b3*conj(th);
temp = c;
c = c+a2*flipud(conj(c))+b2*flipud(conj(d));
d = d+a3*flipud(conj(temp))+b3*flipud(conj(d));

end;

a = [pfb;afb(2:P+1)];

```

Ρουτίνα 2 Κλασσική ανάλυση (Weltch)

```

%Genpsdw

%Η τελική μορφή του προγράμματος παίρνει τον κατάλογο αρχείων και
%φτιάχνοντας τα ονόματα των αρχείων τα καλεί για psd και γραφήματα
vowel = ['a_' 'all' 'e_' 'o_' 'i_' 'u_'];
%Φόρτωση πίνακα των αρχείων wav (manually)
%Εύρεση αριθμού στοιχείων πίνακα και αριθμού υπογραφημάτων
[g,str]=readarr(A,7,1);
for m=1:g,
    [g,str]=readarr(A,7,m);
    if str(6:7)==' ',str=str(1:5);paths=str;
    elseif str(7)==' ',str=str(1:6);paths=[str(1:3) str(5:6)];
    else paths=[str(1:3) str(6:7)]; end;
figure
x=6;
Pal(257)=0;Pall=Pal';Pdball=Pal;
cd c:\dimi
%cd f:\dime\tempvo;
%cd a:
%cd e:\newwave

for m=1:x, if x<=4,n=2; else n=3;end;
if m>=2,m=m+1;end;if m==7,m=2;end;
p=round(x/n);
subplot(n,p,m) %Σε n γραμμές και p στήλες στο γράφημα άρα 6 σχέδια
[x,pathst]=readarr(vowel,3,m); if pathst~='all',pathst=[pathst paths '.wav'];else
pathst=[pathst '.wav'];end;
if pathst(1)==' ',pathst=pathst(2:length(pathst));end;

```

```

directory=[str '\']
pathstr = [directory pathst]
tm=timer
Fs=8192; W=512; pm=0; l=0; numfil=1; epik=0;em=m;
if m~=2,
divfill

B1=B1-mean(B1);
[Px,f]=psd(B1,W,Fs,W,0,'none'); if em==1,E=sum(Px);end;
if em~=1,Px=Px*(E/sum(Px));end;
Pall=Pall+Px;
% Pdball=Pdball+10*log10(Px); Για λογαριθμική αθροίση
end;
f=0:1:W/2;
f=f*Fs/W;
if em==2,Px=Pall;end;
% if em==2,Px=10.^(Pdball/10);end;
lPx=10*log10(Px+0.00001);
plot(f,lPx,'k-')
%[maxlPx,maxF,d] = maxall(lPx,f,10);
%[maxmaxlPx,maxmaxF,d] = maxall(maxlPx,maxF,10);
% plot(maxmaxF,maxmaxlPx,'k-')
set(gca,'FontName','Hellasfun','FontSize',[10],'FontWeight','light','XLim',[0
4000]);
set(gcf,'CurrentAxes',gca)
% if em==5,xlabel('Frequency(Hz)');end;
% if em==6,xlabel('Frequency(Hz)');end;
% ylabel('Power Spectral Density(dB)');
graymon %Γιά ασπρόμαυρη εμφάνιση
% title([pathst])
axis([0 4000 20 100])
end
%orient landscape %Γιά οριζόντια εκτύπωση σε πλήρη σελίδα
%orient tall %Γιά κατακόρυφη εκτύπωση σε πλήρη σελίδα

%print
end

```

Ρουτίνα 3. Εκτίμηση των formants

```

function formfreq=forestm1(FORM,num,switch,m)

extra=0;
V=['a' 'e' 'i' 'o' 'u'];
A=FORM(:,4:13);
X=1:4:4096;
subplot(5,2,2*m-1),setparf

```

```

[N,X]=hist(A,X);plot(X,N,'k-'),setparf
axis([0 4096 0 50])
S=max(N');
% figure,plot(S,'ro')
[Nm,F,d] = maxall(S,X,0);
% figure,plot(F,Nm,'mo') v=axis;axis([0 4000 v(3) v(4)])
[Nma,Fm,d] = maxall(Nm,F,0);
% figure,plot(Fm,Nma,'mo') v=axis;axis([0 4000 v(3) v(4)])
% [Nmax,Fma,d] = maxall(Nma,Fm,0),figure,plot(Fma,Nmax,'mo')
% v=axis;axis([0 4000 v(3) v(4)])

subplot(5,2,2*m),setparf
if switch==1,Nma=Nm;Fm=F;end
%Αγνοεί την δεύτερη διαφόριση που βρίσκει τα μέγιστα των μεγίστων
[Nmmax,Fmax]=maxlevl(Nma,Fm,num);
title(['/' V(m) '/' ' int2str(num)])
formafreq=formfil(Nmmax,Fmax,100);
formafreq(num+1)=0;
formfreq=[formfreq;formafreq];

figure,setparf
for jo=1:5,ds=40*(jo-1);
subplot(2,3,jo),plot(FORM(:,4+ds:13+ds),'r.'),setparf
v=axis;axis([v(1) v(2) 0 4000]),title(['/' V(jo) '/' ])
end

if extra~=0,
figure,setparf
jo=extra;
ds=40*(jo-1);
plot(FORM(:,4+ds:13+ds),'r.'),setparf
v=axis;axis([v(1) v(2) 0 4000]),title(['/' V(jo) '/' ])
end
end

```